

# 1. Resum

L'objectiu del present treball és determinar i avaluar els aspectes tècnics que un aparell d'impressió 3D tipus FFF ha de complir per a distribuir-se legalment com un producte de l'Espai Econòmic de la Unió Europea.

Per tal d'assolir aquest objectiu, es realitza el marcatge CE d'un aparell de referència, el lot BCN3D+, produït per BCN3DTechnologies - Fundació CIM. El marcatge CE comporta el compliment dels Requeriments Essencials de Seguretat i Salut estipulats a les Directives europees de nou enfocament, i en alguns casos, l'aplicació dels principis tècnics definits a Normes Europees.

Els resultats mostren que la BCN3D+ no compleix amb els requeriments exigibles, i per tant no està llest per a sortir de la fase de prototip i esdevenir un producte final. Per una part, presenta riscos per a la salut (riscos mecànics, tèrmics, elèctrics, d'intoxicació), encara que es poden qualificar de moderats o baixos. En segon lloc, presenta deficiències en l'àmbit de la compatibilitat electromagnètica, fet que comporta un funcionament inestable o poc fiable.

Les conclusions obtingudes s'han reinvertit elaborant una nova versió de l'aparell, el model BCN3D Sigma, que compleix satisfactòriament amb tots els requeriments essencials exigibles del marc legal europeu.



## 2. Sumari

<b>1. RESUM</b>	<b>1</b>
<b>2. SUMARI</b>	<b>3</b>
<b>3. GLOSSARI</b>	<b>7</b>
<b>4. PREFACI</b>	<b>10</b>
4.1. Origen del projecte.....	10
4.2. Motivació.....	10
<b>5. INTRODUCCIÓ</b>	<b>11</b>
5.1. Objectius del projecte .....	11
5.2. Abast.....	11
5.3. Metodologia .....	11
<b>6. ESTAT DE L'ART DE LA FABRICACIÓ ADDITIVA</b>	<b>13</b>
6.1. Definició i característiques .....	13
6.2. Comparativa amb la fabricació substractiva .....	14
6.3. Context econòmic actual.....	16
6.4. Tipologies de sistemes d'impressió .....	19
6.5. Tecnologia FDM/FFF .....	20
6.6. Evolució i actualitat de la FFF .....	22
6.7. Cultura Open-source/Free software .....	22
6.7.1. Open-source/Free Hardware .....	24
<b>7. SISTEMA FFF DE REFERÈNCIA: BCN3D+</b>	<b>26</b>
7.1. Sobre BCN3DTechnologies.....	27
7.2. Full de característiques tècniques .....	28
7.3. Vistes esquemàtiques.....	29
7.4. Descripció de l'aparell .....	32
7.5. Cadena operativa d'impressió .....	40
<b>8. NORMALITZACIÓ A LA UNIÓ EUROPEA</b>	<b>44</b>
8.1. Comissió Europea i Directives .....	44
8.2. Normes europees i Actors normalitzadors .....	45
8.3. Estat normatiu de la Fabricació Additiva.....	48

8.4.	Harmonització tècnica i Nou enfocament .....	52
8.5.	Marcatge CE.....	53
8.5.1.	Obtenció del marcatge CE .....	54
8.6.	Directives de nou enfocament aplicables .....	56
<b>9.</b>	<b>DIRECTIVA DE MÀQUINES .....</b>	<b>57</b>
9.1.	Anàlisi de la Directiva .....	57
9.1.1.	Àmbit d'aplicació.....	57
9.1.2.	Requisits Essencials de Seguretat i Salut (RESS) .....	60
9.2.	Avaluació de riscos.....	61
9.2.1.	Terminologia .....	61
9.2.2.	Principis bàsics .....	62
9.2.3.	Límits de la màquina .....	63
9.2.4.	Identificació de perills .....	65
9.2.5.	Estimació del risc.....	66
9.2.6.	Valoració del risc.....	69
9.2.7.	Reducció del risc .....	69
9.3.	Anàlisi del risc: límits i perills mecànics .....	70
9.3.1.	Solucions als perills mecànics .....	77
<b>10.</b>	<b>DIRECTIVA DE BAIXA TENSIÓ .....</b>	<b>79</b>
10.1.	Anàlisi de la Directiva .....	79
10.1.1.	Àmbit d'aplicació.....	79
10.1.2.	Requeriments Essencials de Seguretat i Salut (RESS) .....	80
10.1.3.	Definicions.....	81
10.2.	Esquema elèctric i consum.....	83
10.3.	Aspectes de seguretat elèctrica.....	85
10.3.1.	Dimensionat dels conductors .....	85
10.3.2.	Contacte elèctric.....	85
10.3.3.	Parts calentes .....	87
10.4.	Aplicació a la BCN3D+ .....	88
10.4.1.	Identificació de perills elèctrics i tèrmics.....	88
10.4.2.	Conductors .....	92
10.4.3.	Protecció contra el contacte elèctric.....	92
10.4.4.	Protecció contra parts calentes .....	94
<b>11.</b>	<b>DIRECTIVA DE COMPATIBILITAT ELECTROMAGNÈTICA .....</b>	<b>96</b>
11.1.	Anàlisi de la Directiva .....	96
11.1.1.	Àmbit d'aplicació i Requeriments Essencials .....	96



11.1.2. Avaluació de la conformitat .....	98
11.1.3. Principis de la CEM .....	100
11.1.4. Tipus d'EMI i acoblaments .....	102
11.2. Elements de CEM .....	104
11.2.1. Massa i cablejat .....	104
11.2.2. Font d'alimentació .....	106
11.2.3. Microcontrolador .....	107
11.3. Procediments aplicats i anàlisi de resultats .....	108
11.4. Mesures per a assolir la conformitat de CEM .....	111
11.4.1. Recomanacions generals de cablejat .....	112
11.4.2. Font d'alimentació .....	113
11.4.3. Microcontrolador .....	114
11.4.4. Filtres .....	117
11.4.5. Protecció contra descàrregues electrostàtiques .....	118
<b>12. MATERIALS D'IMPRESSIÓ .....</b>	<b>120</b>
12.1. Plàstics Termoplàstics .....	120
12.2. Degradació tèrmica i toxicitat .....	121
12.3. Solucions al risc posat per l'emissió de fums tòxics .....	125
<b>13. AVALUACIÓ DEL RISC .....</b>	<b>127</b>
<b>14. ASPECTES MEDIAMBIENTALS .....</b>	<b>130</b>
14.1. Directiva RoHS 2 .....	130
14.1.1. Àmbit d'aplicació .....	130
14.1.2. Requisits i aplicació .....	132
14.2. Directiva RAEE 2 .....	133
14.2.1. Àmbit d'aplicació .....	133
14.2.2. Obligacions als productors .....	137
<b>15. INFORMACIÓ A L'USUARI .....</b>	<b>141</b>
15.1. Senyalització de seguretat .....	142
15.2. Manual d'instruccions .....	144
15.2.1. Idioma .....	144
15.2.2. Continguts .....	145
15.2.3. Suport .....	146
<b>16. MARCATGE CE .....</b>	<b>148</b>
16.1. Declaració de Conformitat .....	148
16.2. Expedient Tècnic .....	149

16.3. Marca CE.....	151
<b>17. ALTRES ASPECTES .....</b>	<b>153</b>
17.1. Propietat intel·lectual .....	153
17.1.1. Llicències recomanades .....	157
17.2. Condicions de venda .....	158
17.2.1. Garanties del consumidor.....	158
<b>18. CONCLUSIONS DE L'ESTUDI DE LA BCN3D+ .....</b>	<b>161</b>
<b>19. DESENVOLUPAMENT DEL MODEL BCN3D SIGMA .....</b>	<b>163</b>
19.1.1. Aspectes de seguretat mecànica.....	164
19.1.2. Aspectes de seguretat elèctrica .....	167
19.1.3. Aspectes de CEM .....	170
19.1.4. Identificació de perills .....	177
19.1.5. Avaluació de Riscos.....	179
19.1.6. Informació a l'usuari .....	180
19.1.7. Marcatge CE.....	181
19.1.8. Altres aspectes .....	182
<b>20. ESTUDI DE LA VIABILITAT DEL PROJECTE .....</b>	<b>184</b>
20.1. Estudi econòmic .....	184
20.2. Estudi d'Impacte Ambiental (EIA) .....	188
<b>21. AGRAÏMENTS .....</b>	<b>190</b>
<b>22. BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>191</b>
22.1. Referències bibliogràfiques.....	191
22.2. Bibliografia complementària.....	195

### 3. Glossari

**Anàlisi del Risc.** Primera etapa del procés d'Avaluació del Risc, que inclou l'Especificació dels límits de la màquina, la Identificació de Perills i l'Estimació del Risc.

**Arduino.** Empresa que dissenya i produeix plaques microcontroladores del mateix nom, de tipus FOSH i de baix cost.

**Avaluació del Risc.** Procés global que comprèn l'Anàlisi del Risc i la Valoració del Risc.

**CEM (Compatibilitat electromagnètica).** Qualitat d'un aparell per a funcionar correctament sense emetre ni rebre perturbacions electromagnètiques de manera significativa.

**Conductor de protecció.** Conductor requerit a certes mesures de protecció contra el xoc elèctric i que connecta elèctricament algunes de les següents parts conductores.

**Contacte directe:** Contacte elèctric entre persones o animals amb parts actives.

**Contacte indirecte:** Contacte elèctric de persones o animals domèstics amb parts conductores accessibles que s'han posat en tensió com a resultat d'una fallada d'aïllament.

**Controlador.** Component electrònic que permeten indicar el gir dels motors pas a pas.

**Dany.** Lesió física o deteriorament de la salut.

**Directiva de nou enfocament.** Disposició legislativa reconeguda al Tractat de la Unió Europea, que introdueix principis bàsics per als productes o serveis, i és d'obligat compliment per als estats membres.

**EEE (Espai Econòmic Europeu).** Mercat únic format pels països de la Unió Europea més tres països de la AELC (Islàndia, Liechtenstein, Noruega).

**EMI (Interferència electromagnètica).** Ones electromagnètiques emeses per sistemes elèctrics i electrònics, que afecten negativament el bon funcionament dels propis sistemes emissors i d'altres dispositius al seu entorn.

**EMS (Susceptibilitat electromagnètica).** Grau de protecció dels aparells a les emissions electromagnètiques del seu entorn.

**Estimació del risc.** Definició de la gravetat més probable del dany i de la probabilitat de que aquest succeeixi.

**ESO (European Standardisation Organisation).** Organisme de Normalització Europeu. S'aplica a tres organismes: CEN, CENELEC, i l'ETSI.

**Extrusor.** Element d'una impressora FFF on s'escalfa el plàstic per a portar-lo a un estat de fluència.

**Fabricació Additiva.** Segons les normes **ISO 17296-1** i **ASTM 2792-12**, "procés d'unió de materials per a produir objectes a partir de dades 3D d'un model, usualment apilant capes una sobre l'altra, en oposició a les metodologies de fabricació subtractives".

**FDM (Fused Deposition Modeling).** Modelat per Deposició de material Fos. Aquest terme fa referència a la tecnologia d'impressió 3D en que, típicament, un material termoplàstic s'escalfa fins a un estat de fluència per a poder-lo dipositar en capes i formar un objecte d'una geometria determinada.

**FFF (Fused Filament Fabrication).** Fabricació de Filament Fos. Terme equivalent a FDM.

**Firmware.** Lògica de control que governa un sistema electrònic i permet que realitzi les seves funcions normals. Es troba emmagatzemat a la seva memòria interna.

**Font d'alimentació.** Dispositiu que converteix una alimentació elèctrica.

**FOSH (Free and Open Source Hardware).** Maquinari Lliure i de Codi Obert. Maquinari que es distribueix amb una llicència de tipus open-source/free hardware.

**FOSS (Free and Open Source Software).** Programari Lliure i de Codi Obert. Programari distribuït amb una llicència de tipus open source/free software. Les llicències open-source permeten l'accés al codi font del programari. Les llicències free software atorguen a l'usuari el dret d'accedir al codi font, d'estudiar-lo, modificar-lo i redistribuir-lo, ja sigui en la forma original o modificada.

**Interferència conduïda.** Pertorbació electromagnètica que es propaga a través d'una connexió física que uneix la font d'interferències amb el receptor.

**Interferència radiada.** Pertorbació electromagnètica que es propaga mitjançant el camp electromagnètic.

**Mal ús raonablement previsible.** Ús d'una màquina d'una manera no estipulada pel dissenyador, però que pot resultar d'un comportament humà fàcilment previsible.

**MCU (Microcontroller Unit).** Microcontrolador. Component electrònic capaç d'emmagatzemar i llegir ordres, i controlar altres elements electrònics.

**Mesura preventiva.** Mesura prevista per a assolir la reducció del risc.

**Motor pas a pas.** Tipus de motor elèctric, usat en aplicacions on la necessitat primordial és el control precís de la posició dels eixos.

**Norma Europea.** Document d'aplicació voluntària reconegut per algun Organisme de Normalització Europeu (ESO), que estableix especificacions tècniques aplicables a productes, serveis, processos i mètodes d'avaluació.

**Perill.** Font de possible dany.

**RAEE.** Residus d'Aparells Elèctrics i Electrònics.

**Reial Decret.** Transposició al dret de l'estat espanyol de les Directives europees.

**Risc.** Combinació de la probabilitat que es produeixi un dany i de la gravetat d'aquest dany.

**Risc residual.** Risc romanent després de prendre totes les mesures preventives possibles.

**Termoplàstic.** Material plàstic amb un comportament no destructiu amb la calor, que pot passar repetidament d'estat sòlid a estat viscos i viceversa.

**Ús previst d'una màquina.** Ús d'una màquina d'acord amb la informació proporcionada en les instruccions per a la seva utilització.

**Valoració del risc.** Jutjar, conforme al resultat de l'Anàlisi del risc, si els objectius de Reducció del Risc s'han assolit.

## 4. Prefaci

### 4.1. Origen del projecte

L'origen del projecte es troba en la preocupació d'una entitat, BCN3DTechnologies - Fundació Privada Centre CIM, respecte els requeriments necessaris per a introduir un producte al mercat europeu. La seva preocupació es troba fonamentada, doncs actualment, BCN3DTechnologies dissenya, produeix i distribueix aparells domèstics d'impressió 3D.

Actualment existeixen moltes empreses de característiques similars, dedicades a la venda d'aparells d'impressió 3D domèstics. L'aparició sobtada d'aquest mercat ha anat acompanyada d'un desconeixement general dels aspectes tècnics i legals exigits pel marc legal que ens envolta.

### 4.2. Motivació

La motivació per a elaborar el present projecte té varies vessants:

- En primer lloc, elaborar un document que serveixi de guia per a totes aquelles empreses que decideixin desenvolupar productes d'aquesta tipologia. El present estudi proporciona la informació per a que els aparells d'impressió tridimensional millorin en qualitat i seguretat, reduint el buit entre el món professional i el món amateur.
- Com a extensió natural de l'anterior, generar un document aclaridor sobre l'aplicació del marcatge CE d'un producte.
- En tercer lloc, contribuir a la millora i evolució dels aparells fabricats per BCN3DTechnologies.
- Per últim, i de manera més personal, conèixer de primera mà les dificultats associades al desenvolupament de productes, això és, el procés que va de la concepció de prototipus a la validació de productes finals.

## 5. Introducció

### 5.1. Objectius del projecte

L'objectiu del present treball és elaborar un estudi sobre les característiques que ha de reunir un lot d'impressió 3D de tipus FFF per tal que es pugui comercialitzar com un producte legal dins l'Espai Econòmic de la Unió Europea. La posada en venta d'un producte d'aquestes característiques requereix la realització del seu marcatge CE. Per aquest motiu, es pren un aparell de referència, el model BCN3D+ produït pel fabricant BCN3DTechnologies, i es desenvolupa el seu marcatge CE.

Les conclusions de l'estudi determinen els aspectes que cal modificar per a que l'aparell pugui esdevenir un producte final conforme amb la legislació del mercat únic de la UE. Aquestes conclusions s'han aplicat per a obtenir un nou aparell, anomenat BCN3D Sigma.

### 5.2. Abast

El present estudi, per la seva naturalesa, involucra el coneixement especialitzat de diverses àrees tècniques, molt particularment: la tecnologia elèctrica, l'electrònica, i el disseny de màquines. També requereix la intervenció d'aspectes normatius i jurídics, que guien i condicionen la validesa de les conclusions adoptades.

D'altra banda, el present treball exigeix en molts casos despeses econòmiques, en forma de proves de laboratori o adquisició de documents normatius.

Davant d'aquest plantejament, s'ha convingut a aprofundir fins al nivell crític que garanteix el bon desenvolupament del treball, sempre a partir de les indicacions de la entitat propiciadora de l'estudi, BCN3D Technologies – Fundació Privada Centre CIM. Tota conclusió presa ha sigut contrastada amb l'opinió d'especialistes experimentats en l'àmbit pertinent.

### 5.3. Metodologia

El treball aborda els aspectes de seguretat per a la salut de les persones que incumbeixen l'aparell BCN3D+, i per extensió, la BCN3D Sigma. Malgrat les especificitats particulars, en general el cos del document segueix la següent pauta:

- 1) Anàlisi d'una Directiva i de les Normes aplicables seleccionades.

- 2) Anàlisi de la BCN3D+ en relació a l'àmbit d'aplicació de la Directiva.
- 3) Conclusions i propostes de solucions.

La Directiva de Màquines 2006/42/CE articula globalment el marcatge CE. El seu punt principal és la realització d'una Avaluació del Risc, que permet obtenir informació sobre l'aptitud de les màquines en matèria de seguretat per a la salut de les persones. Aquesta es realitza al final del treball, a partir de la informació presentada a cadascun dels apartats.

A l'estudi també es tracten aspectes que no afecten al disseny de l'aparell, però que són rellevants per a la seva distribució comercial (apartats 14. *Aspectes mediambientals* i 17. *Altres aspectes*).

El treball finalitza amb la descripció d'un nou model d'aparell, anomenat BCN3D Sigma, que incorpora totes les millores i comentaris exposats en el projecte.

El document inclou un estudi de viabilitat del projecte. Aquest es compon d'un Estudi econòmic i d'un Estudi d'Impacte Ambiental.

El volum d'annexos recull els següents documents, elaborats conjuntament amb el present treball:

- El manual d'instruccions actual de l'aparell BCN3D+, elaborat com a part integral del seu marcatge CE.
- La Declaració de Conformitat per al nou aparell model BCN3D Sigma.

Donat que els documents legislatius i textos normatius es troben redactats en llengua castellana, i per tal de simplificar la presentació de la informació sense afectar el caire divulgatiu del present treball, s'ha decidit redactar les referències i cites a aquells igualment en castellà. Les referències es denoten per la tipografia diferenciada **referència**. Les cites textuais es denoten amb la tipografia **text legal oficial**.



## 6. Estat de l'art de la Fabricació Additiva

### 6.1. Definició i característiques

La Fabricació Additiva (FA) es defineix segons les normes **ISO 17296-1** i **ASTM 2792-12a** com [1]:

“Processos d'unió de materials per fer objectes a partir de dades de model 3D, usualment capa sobre capa, al contrari que les metodologies de fabricació subtractiva.”

El terme impressió 3D també és d'ús habitual, encara que el més correcte és emprar-lo únicament en l'àmbit del consumidor domèstic. El terme manufactura o fabricació additiva és més acurat per a referir-se a la impressió industrial, ja que implica no només l'acte d'impressió, sinó tots aquells processos addicionals necessaris per a obtenir productes adequats per a ser comercialitzats.

De la definició anterior es poden aïllar tres aspectes intrínsecs a la fabricació additiva:

- En primer lloc, la fabricació additiva requereix un model en format digital. La seva geometria esdevindrà l'objecte físic resultant de la impressió.
- En segon lloc, es requereix un material consumible. El tipus de material varia en funció del sistema concret d'impressió. El ventall de materials suportats és cada dia més ampli, i actualment poden trobar-se des de materials industrials comuns, com metalls, plàstics i ceràmiques, fins a bio materials o substàncies comestibles.
- Per últim, la fabricació additiva opera de manera oposada a la fabricació subtractiva. La fabricació subtractiva es basa en l'arrencament de material. La fabricació additiva, per contra, obté peces per mitjà de l'aportació de material.

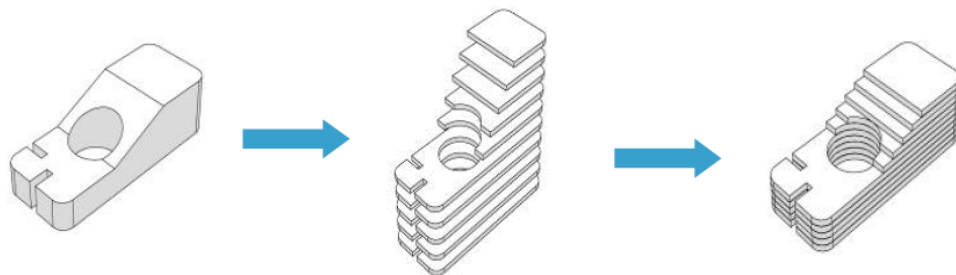


Fig. 6.1. Representació simplificada de la fabricació additiva.

## 6.2. Comparativa amb la fabricació substractiva

La fabricació substractiva comprèn un conjunt de tecnologies que permeten obtenir peces per mitjà de l'arrencament de material. Processos com el trepanat, el fresat, el tornejat, el rectificat, i l'electroerosió, estan avui dia perfectament descrits i implantats a la indústria.

Qualsevol tecnologia de fabricació substractiva requereix un material en brut de partida, sobredimensionat, que es mecanitza amb una eina de tall fins a extreure'n la geometria final. Els materials emprats abracen tot tipus de materials industrials, com metalls, ceràmiques i polímers.



Fig. 6.2. Imatge d'una operació de tornejat.

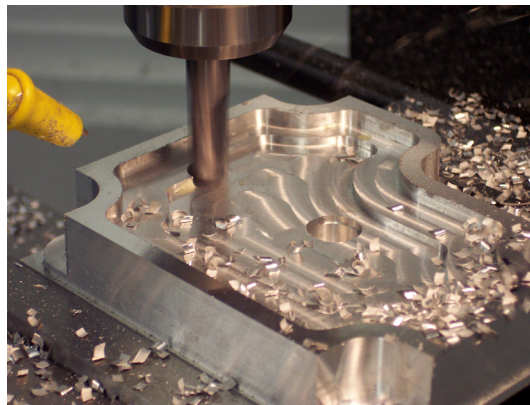


Fig. 6.3. Imatge d'una operació de fresat.

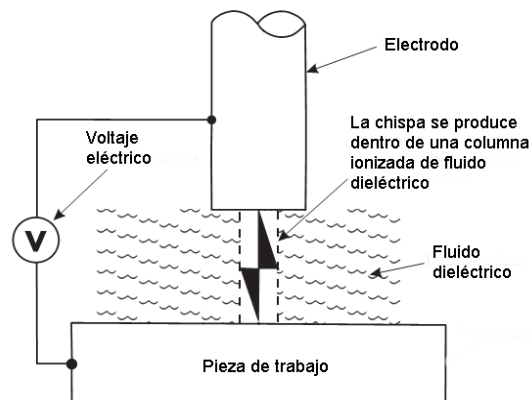


Fig. 6.4. Esquema de la tecnologia d'electroerosió.

Els avantatges que presenten aquestes tecnologies són:

- Estandardització i control dels processos.
- Alta qualitat dimensional i superficial.
- Bones propietats mecàniques de les peces.

El inconvenients associats són:

- El propi sistema de fabricació limita la variat de formes que es poden aconseguir.
- Un increment en la complexitat geomètrica té una repercussió directa en els costos de fabricació.
- Es produeix un desaprofitament del material en brut de partida.

Les tecnologies d'impressió 3D van aparèixer a la indústria als anys 80, principalment per a l'obtenció ràpida de prototips (aplicació coneguda en anglès com a 'Rapid Prototyping').

Els avantatges de les tecnologies de fabricació additiva, enfront dels mètodes substractius, són varis:

- Llibertat per a generar geometries extremadament complexes, virtualment sense límits.
- Els costos de fabricació no es veuen incrementats per un grau addicional de complexitat geomètrica, paradigma descrit sovint amb la frase "complexity for free" (complexitat a cost zero).

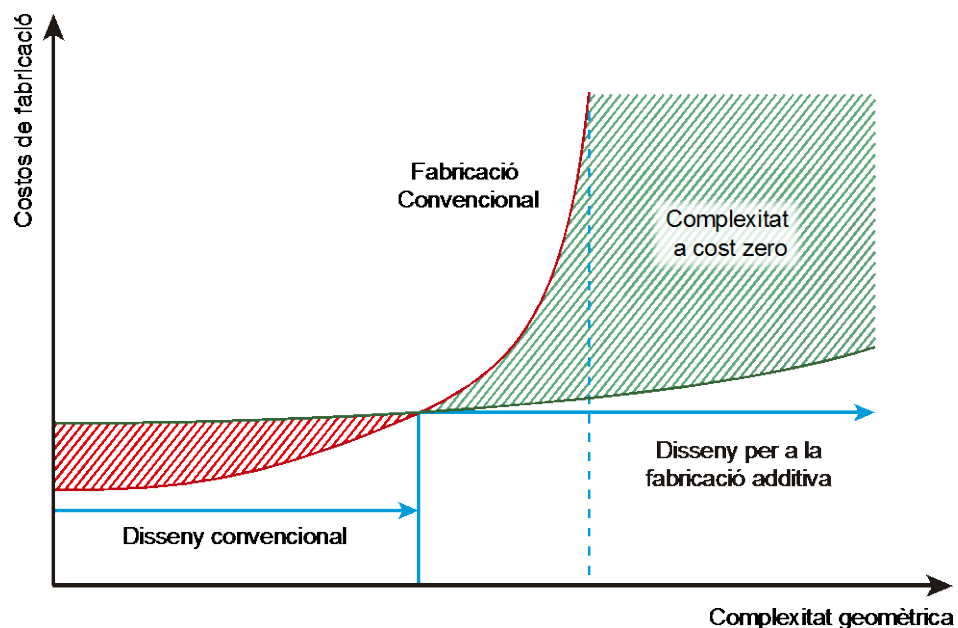


Fig. 6.5. Relació entre els costos de producció i la complexitat geomètrica [2].

- Per extensió del punt anterior, capacitat per a produir estructures lleugeres, no massisses, i d'una sola peça.
- Capacitat per a produir sèries petites, amb un alt grau de personalització, sense que això comporti cap sobrecost crític.

- En general, alt aprofitament del material en brut. No es parteix d'un bloc o preforma, sinó de material que en molts casos és directament recuperable per a la fabricació.
- Permet fabricar sense necessitat d'utilitatges ni elements entremetjats de gran complexitat.

Actualment la indústria de la fabricació additiva treballa per a aconseguir fabricar productes finals, aplicació anomenada sovint com a 'Rapid Manufacturing'. Els problemes a resoldre en aquest procés de transició són:

- Manca d'estandardització i control dels processos productius.
- Manca de qualitat dels acabats.
- Escassetat de materials amb prestacions mecàniques determinades.
- Conflictes de Propietat Intel·lectual i Industrial.

### 6.3. Context econòmic actual

La fabricació additiva es troba actualment en una situació de plena expansió. Representa en sí mateixa una via de desenvolupament tecnològic, i proporciona oportunitats de negoci.

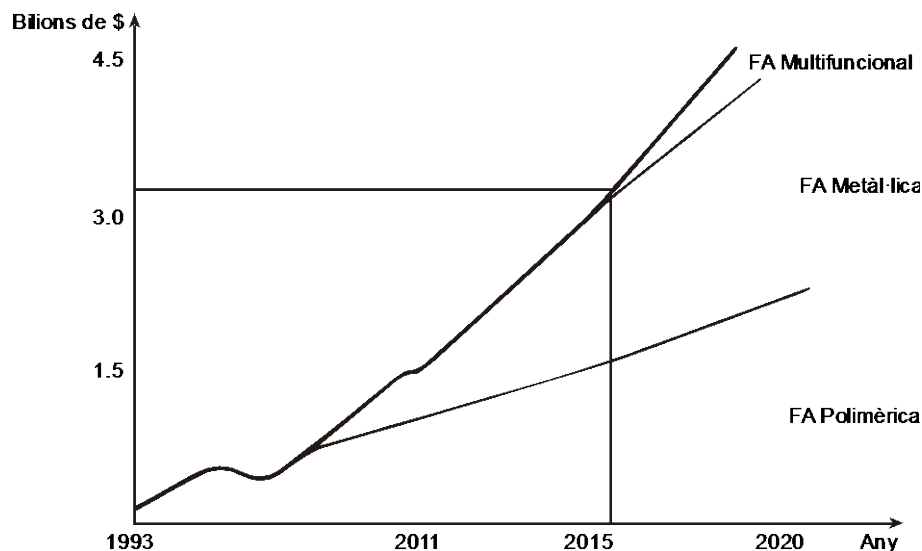


Fig. 6.6. Volum de negoci previst per a la fabricació additiva, separat per tipus de material [2].

La figura següent mostra com, a nivell domèstic, la impressió 3D es troba actualment en un moment de màxima generació expectatives. A nivell industrial, avança cap a un estatus de productivitat normalitzada. Altres tendències com la bio impressió encara es troben en fase de desenvolupament bàsic.

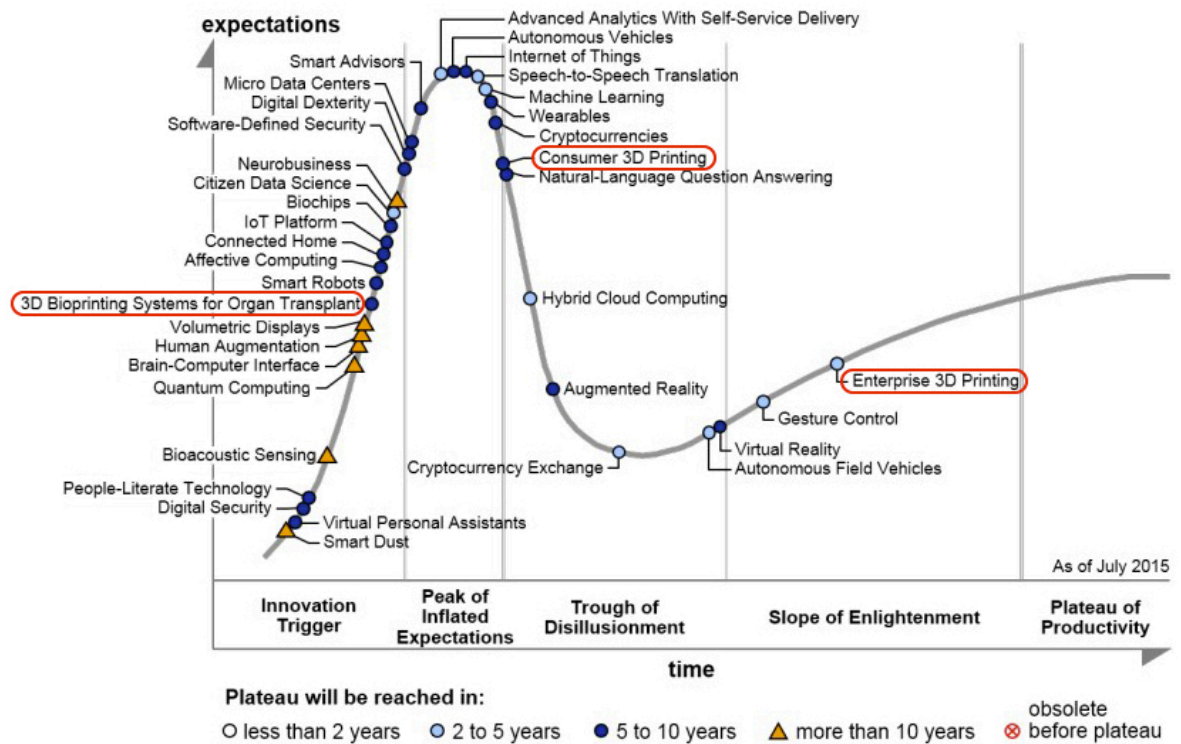


Fig. 6.7. Cicle de sobre-expectació de Gartner per a tecnologies emergents, Juliol 2015 [3].

Les figures següents mostren més detalladament les expectatives de sectors determinats:

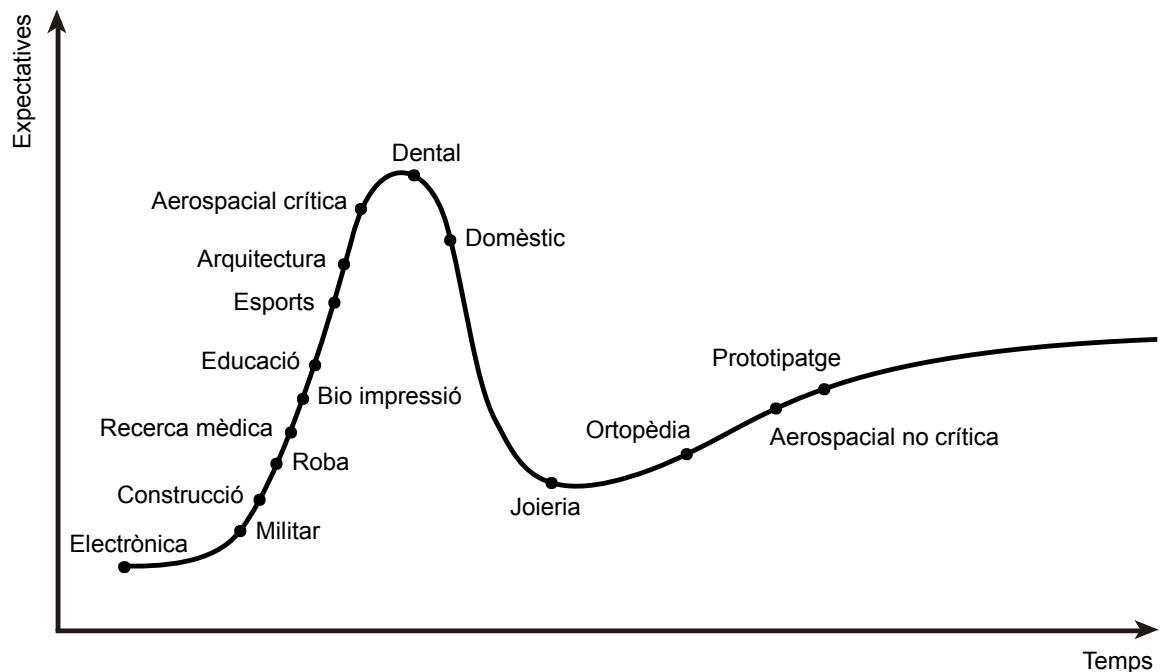


Fig. 6.8. Cicle de sobreexpectació de Gartner per als sectors interessats en la fabricació additiva, Juny 2014 [4].

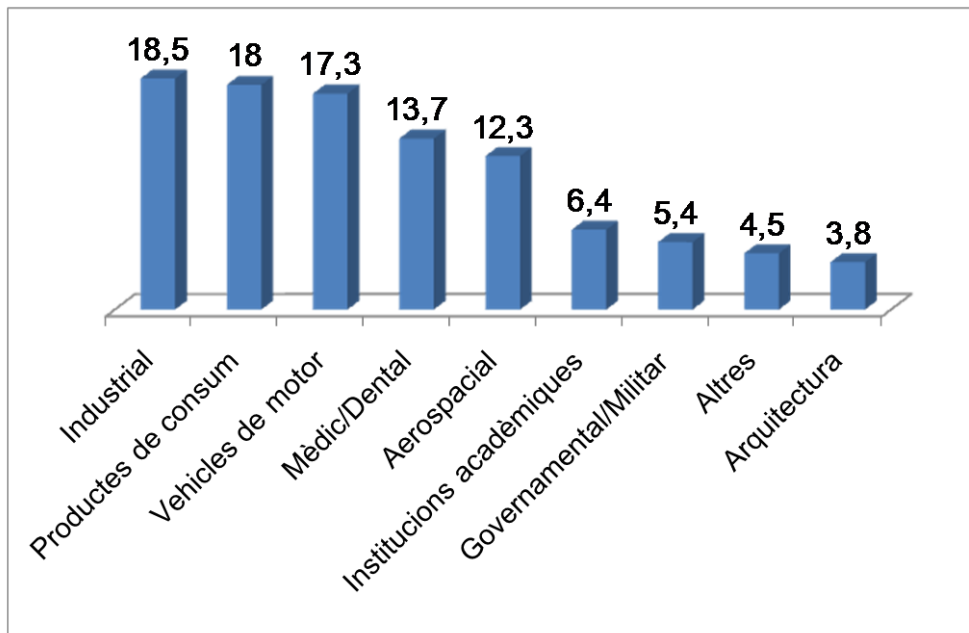


Fig. 6.9. Sectors utilitzant la fabricació additiva, Any 2012 [5].

Degut a les seves característiques, la fabricació additiva es situa actualment al centre del que algunes veus autoritzades defineixen com la propera revolució industrial. En aquest marc, la manufactura additiva farà possible un nou paradigma, on la producció en massa es podrà abandonar en favor d'una producció més personalitzada, pròpia del mètode artesanal.

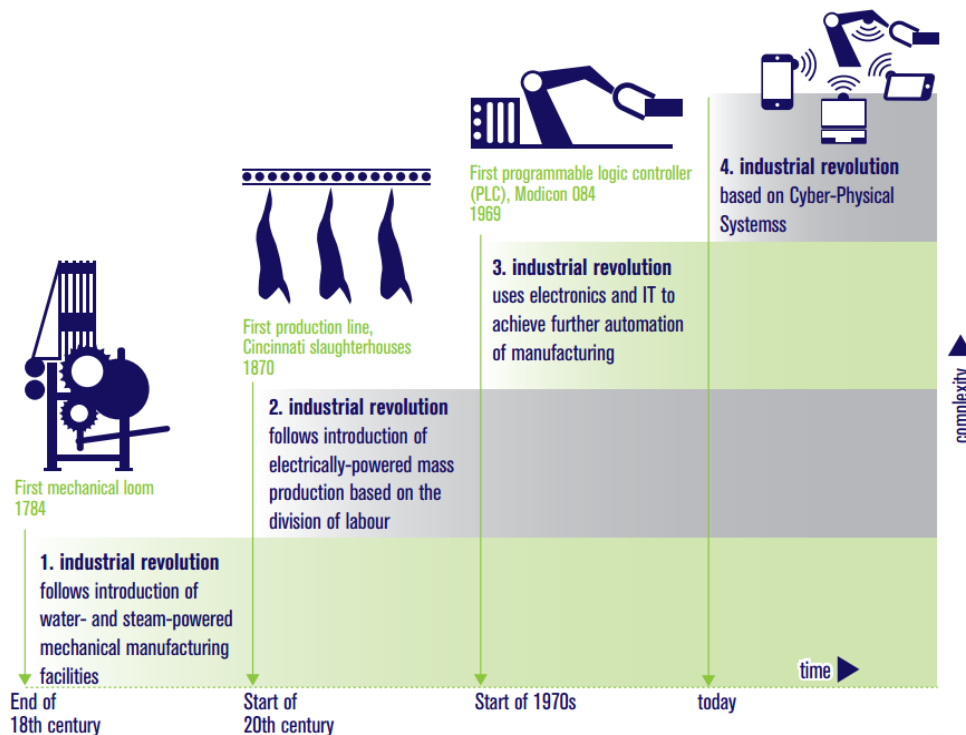


Fig. 6.10. Evolució de les successives revolucions industrials [6].

Per a exemplificar-ho, es pot analitzar la producció industrial d'un producte senzill, com és un ànec de plàstic. Per a tal tasca, cal dissenyar i fabricar els motlles d'injecció de plàstic adients. Els costos globals de fabricació del motllo i d'obtenció del producte són només assumibles si la producció d'unitats és molt elevada. Per extensió, qualsevol canvi en el disseny de l'ànec comportarà uns grans costos.

Amb la fabricació additiva per contra, la translació de canvis en el disseny a la producció és immediata, i la quantitat d'unitats produïdes no afecta de manera crítica als costos.

## 6.4. Tipologies de sistemes d'impressió

La norma **F2792-12a Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies**, desenvolupada per la American Society for Testing and Materials (ASTM), a través del seu subcomitè tècnic ASTM F42 – Additive Manufacturing, classifica els processos de Fabricació Additiva en set categories. A continuació es descriuen aquestes categories, juntament amb els materials emprats habitualment i algunes tecnologies representatives [1]:

### 1. Vat Photopolymerisation

Aquests processos impliquen la fotopolimerització de resines líquides dins un dipòsit contenidor.

Materials emprats: Fotopolímers.

Tecnologies representatives: Estereolithography (SLA); Continuous Liquid Interface Production (CLIP); Digital Light Processing (DLP).

### 2. Material Jetting

Aquests processos injecten gotes de material de manera selectiva.

Materials: Polímers; Ceres.

Tecnologies representatives: PolyJet.

### 3. Binder Jetting

Dipositen un material líquid aglutinant sobre un altre material base en pols.

Materials emprats: Polímers; Metalls; Sorres.

Tecnologies representatives: CJP, Multi Jet Fusion™, 3DPrinting (3DP).



#### 4. Material Extrusion

Fan circular un material en estat viscos a través d'un broquet.

Materials: Polímers; Material de construcció; Purés comestibles.

Tecnologies representatives: Fused Deposition Modeling (FDM)/ Fused Filament Fabrication (FFF); Contour Crafting (CC).

#### 5. Powder Bed Fusion

Polimeritzen resines en pols per mitjà de l'aplicació selectiva d'energia tèrmica.

Materials: Polímers; Metalls.

Tecnologies representatives: Selective Laser Sintering (SLS); Direct Metal Laser Sintering (DMLS); Selective Heat Sintering (SHS); Selective Laser Melting (SLM); Electron Beam Melting (EBM).

#### 6. Sheet Lamination

Tallen làmines de material que s'apilen i uneixen.

Materials: Metall; Paper.

Tecnologies representatives: Selective Deposition Lamination (SDL); Ultrasonic Additive Manufacturing (UAM); Laminated Object Manufacturing (LOM).

#### 7. Directed Energy Deposition

Apliquen energia tèrmica focalitzada per a fondre els materials a mida que es dipositen, com una soldadura tridimensional.

Materials: Metall.

Tecnologies representatives: Laser Engineered Net Shaping (LENS); Direct metal Deposition (DMD)

Aquestes categories es troben en constant revisió. Algunes tecnologies d'impressió 3D participen de varies categories alhora, i alguns desenvolupaments més recents s'escapen inclús d'aquesta nomenclatura.

### 6.5. Tecnologia FDM/FFF

La tecnologia de Modelat per Deposició Fosa (Fused Deposition Modeling, FDM) és un procés de tipus 'Material Extrusion', o Extrusió de material. Va ser descrit per Scott Crump a



finals del anys 80, en una patent que va aconseguir l'any 1992 (U.S. Patent No. 5,121,329). L'any 1988 va fundar l'empresa Stratasys Ltd. per a comercialitzar la seva invenció.

El terme Fused Deposition Modeling i el seu acrònim FDM són un marca registrada de Stratasys Inc., i per tant el seu ús és exclusiu de Stratasys. Per aquesta raó es va crear un terme equivalent, Fabricació per Filament Fos (Fused Filament Fabrication, FFF), que es pot usar sense restriccions legals per a referir-se a la mateixa tecnologia.

Els materials consumibles usats són típicament plàstics industrials de tipus termoplàstic, entre ells: Acrilonitril butadiè estirè (ABS), Àcid polilàctic (PLA), Policarbonat (PC), Poliamida (PA), Alcohol de polivinil (PVA), Poliestirè (PS), Poliestirè d'alt impacte (HIPS), etc.

El sistema de fabricació es descriu amb els següents passos:

- 1) Un fil de material termoplàstic es fa passar per una cambra equipada amb una resistència elèctrica. El material s'escalfa fins a una temperatura superior a la transició vítria, i adquireix un estat de fluència.
- 2) El fil escalfat s'empeny de forma mecànica a través d'un broquet extrusor.
- 3) Per acció d'uns motors, l'extrusor es desplaça sobre una safata, i dibuixa una secció de la peça.
- 4) Un cop es finalitza una secció, l'extrusor es separa respecte la safata, i comença a dibuixar la secció següent de la peça.

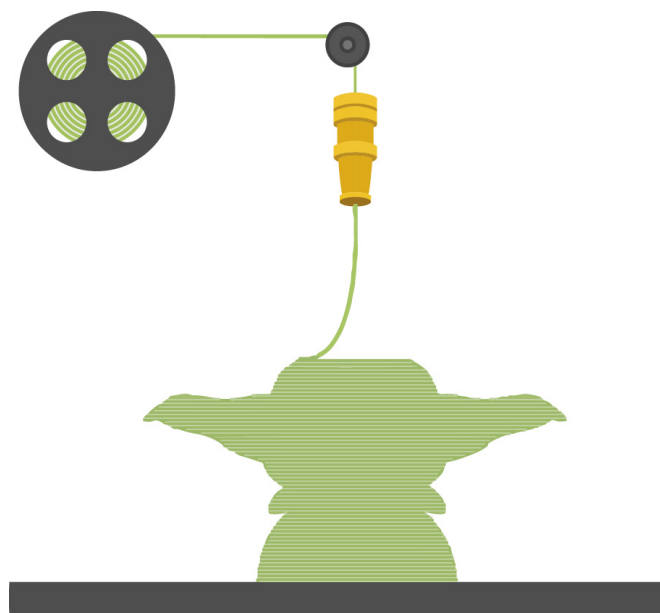


Fig. 6.11. Esquema de la impressió FDM/FFF [7].

## 6.6. Evolució i actualitat de la FFF

La fita clau que explica el panorama actual de la impressió 3D FDM es produeix l'any 2009, quan la patent que posseïa Scott Crump expira. En aquest moment l'ús de la tecnologia queda exempt d'impediments legals, i irromp a la xarxa el Projecte RepRap.

El Projecte RepRap és una comunitat virtual que, per mitjà de la contribució dels seus participants, difon coneixement i sintetitza dissenys d'impressores 3D. És també la responsable del terme FFF. La iniciativa va ser creada pel Doctor Adrian Bowyer, professor d'Enginyeria Mecànica a l'Universitat de Bath, al Regne Unit, el 23 de març de 2005 (data de creació del blog del projecte), tot i que l'any 2003 el professor Bowyer ja va descriure la seva idea a la xarxa.



Fig. 6.12. Logotip de la comunitat RepRap.

El creixement d'aquesta comunitat ha estimulat globalment el sector de la fabricació additiva, i ha donat lloc a fires i publicacions especialitzades. L'èxit d'aquesta iniciativa s'explica gràcies a la intervenció de varis actors i elements que li han sigut favorables. Es poden sintetitzar en:

- Implantació generalitzada d'Internet a la societat.
- Generalització de les eines web de participació directa, com els fòrums i les enciclopèdies virtuals Wikipedia.
- Disponibilitat al mercat de components electrònics de baix cost.
- Expansió i acceptació dels principis del programari lliure i de codi obert.

## 6.7. Cultura Open-source/Free software

Un dels punts claus que ha garantit la supervivència del projecte RepRap ha sigut la seva integració en el moviment per a la distribució del coneixement.

Aquest moviment té origen en el món del programari informàtic. Tradicionalment, els programes informàtics es distribueixen de manera privativa. Això significa que no es permet que els usuaris estudiïn, modifiquin, o comparteixin el programari o el seu codi font, ja que

aquests drets són exclusius del creador del software. Els programes no privatis per contra atorguen aquests drets als usuaris. Es fonamenten en els conceptes de free software (programari lliure) i open source software (programari de codi obert), i són referits normalment com a FOSS (acrònim en anglès de Free and Open Source Software).

Els FOSS cedeixen drets per mitjà de llicències d'exploració. Actualment, es poden citar tres organismes pioners en la tasca de reconèixer i elaborar llicències de programari tipus FOSS: la Open Source Initiative (OSI), la Free Software Foundation (FSF), i la Creative Commons (CC):

- **Open source initiative (OSI).** És una corporació sense ànim de lucre, creadora de la Definició Open-Source (OSD). És l'organisme reconegut per a validar llicències de tipus codi obert. La base conceptual de les seves llicències és el dret a poder accedir al codi font.



Fig. 6.13. Logotip de la Open Source Initiative.

- **Free Software Foundation (FSF).** Fundació creada per Richard Stallman, manté la Free Software Definition. És l'organisme reconegut per a validar llicències de tipus programari lliure. La base conceptual de les seves llicències és el dret a quatre llibertats sobre els programes: llibertat d'ús, d'estudi, de modificació i distribució del codi, en la seva forma original o modificada. Aquest enfocament acaba repercutint en les condicions finals d'algunes de les seves llicències, i les diferencia de les llicències oferides per la OSI.



Fig. 6.14. Logotip de la Free Software Foundation.

- **Creative Commons.** És una corporació sense ànim de lucre, que ofereix llicències alternatives a les privatives. Proporciona llicències que en alguns casos compleixen amb els requisits del programari lliure i de codi obert. Es diu que ofereixen llicències

amb “Alguns drets reservats”, a mig camí entre les llicències amb “Tots els drets reservats” i les “Sense drets reservats”.



Fig. 6.15. Logotip de Creative Commons.

### 6.7.1. Open-source/Free Hardware

Els conceptes de codi obert/lliure, que es van originar en el món del programari informàtic, s'han estès actualment a d'altres àmbits, i s'apliquen de manera similar a tot tipus de produccions, com documents, creacions artístiques, etc.

D'especial rellevància per al present treball és l'àmbit del maquinari de codi obert/lliure (en anglès, free and open-source hardware, FOSH). Es recolza en les mateixes llicències que els FOSS, o en d'altres elaborades més específicament. La Open Source Hardware Association és un exemple d'entitat dedicada a promoure l'ús de maquinari FOSH.

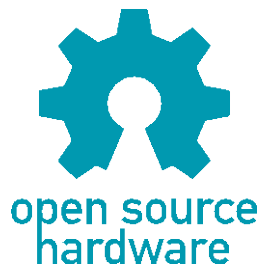


Fig. 6.16. Logotip dissenyat per l'Open Source Hardware Association.

Tots els dissenys del projecte RepRap es publiquen amb una llicència de tipus FOSS/FOSH, que garanteix la lliure circulació de la informació.

Un actor destacat en la difusió d'aquest tipus de maquinari és l'empresa italiana Arduino LLC. Tots els seus productes es venen sota llicències FOSH, i els seus dissenys es troben publicats a Internet. La seva línia de plaques microcontroladores ha sigut, en gran mesura, la responsable de la recent popularització de l'electrònica creativa i amateur, que inclou la impressió 3D domèstica.

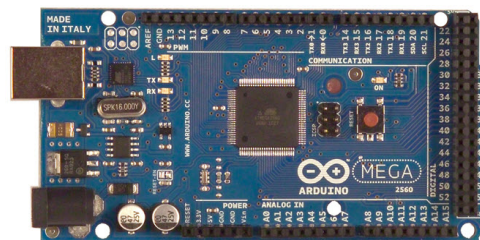


Fig. 6.17. Logotip de la comunitat Arduino (esq.), i fotografia de la placa Arduino Mega (dreta).

## 7. Sistema FFF de referència: BCN3D+

Per al desenvolupament del present estudi, es pren un aparell d'impressió 3D de tipus FFF actualment al mercat. L'aparell escollit ha sigut la BCN3D+, produïda per BCN3DTechnologies.

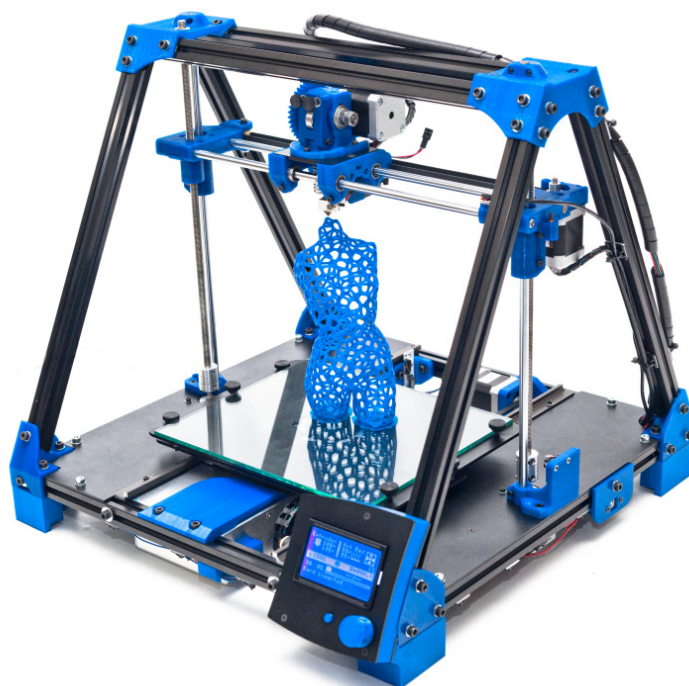


Fig. 7.1. Kit d'Impressió BCN3D+ assemblet.



Fig. 7.2. Kit BCN3D+ desmuntat.

Aquesta impressora es basa en models de maquinari FOSH descrits a la comunitat RepRap, en particular els dissenys Mendelmax 1.5 i Prusa i2. Per aquest motiu, les conclusions del present treball són en gran mesura aplicables a qualsevol sistema d'impressió que comparteixi les mateixes característiques i components.

La impressora es distribueix en forma de lot d'auto muntatge (un kit, usant un terme d'origen anglosaxó). Això significa que el fabricant es limita a vendre una col·lecció de components que, muntats adientment i sota la completa responsabilitat de l'usuari, permeten assemblejar una impressora de tipus FFF.

## 7.1. Sobre BCN3DTechnologies

BCN3DTechnologies és un fabricant que té com a missió a apropar les tecnologies d'impressió 3D al gran públic, d'una manera didàctica i pro activa. Per aquest motiu distribueix lots FFF de baix cost, organitza tallers de muntatge, i manté una oferta constant de beques de col·laboració per a estudiants de perfil tècnic.



Fig. 7.3. Logotip de BCN3DTechnologies.

Al seu torn, BCN3DTechnologies sorgeix com una iniciativa de la Fundació Privada Centre Cim. Aquest és un centre pertanyent a la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), i la seva tasca central és enfortir el vincle entre universitat i indústria, per mitjà de la formació, la innovació i la col·laboració directa.



Fig. 7.4. Logotip de la Fundació CIM.

## 7.2. Full de característiques tècniques

A continuació es mostra una descripció general de les característiques tècniques de l'aparell:

Tecnologia de fabricació	Extrusió de Material - Fabricació per Filament Fos (FFF)
Dimensions globals	480mm x 480mm x 455mm
Pes	13Kg
Volum d'impressió	Base: 250mm x 200mm Alçada: 200mm
Nombre d'extrusors	1 (ampliable a 2)
Alçada de capa	0.1 - 0.35mm amb broquet extrusor de 0.4mm 0.2 - 0.5mm amb broquet extrusor de 0.6mm
Resolució de posicionament dels motors	Eix X: 0.05mm Eix Y: 0.05mm Eix Z: 0.1mm
Temperatura ambient de funcionament	15-35C°
Temperatura de llit calent màxima	80°C
Temperatura d'extrusor màxima	260°C
Diàmetre del filament	3mm; 1,75mm
Materials admissibles	PLA; ABS; Niló; HIPS; PVA
Microprocessador	Arduino Mega 2560 + placa RAMPS 1.4
Alimentació elèctrica	AC 100-240V, ~4 A, 50-60Hz
Consum elèctric	200W
Connectivitat	Ranura per a inserció de targeta SD; Connector USB

Fig. 7.5. Taula de característiques generals de la BCN3D+.



### 7.3. Vistes esquemàtiques

Les següents figures mostren les parts més destacables de l'aparell.

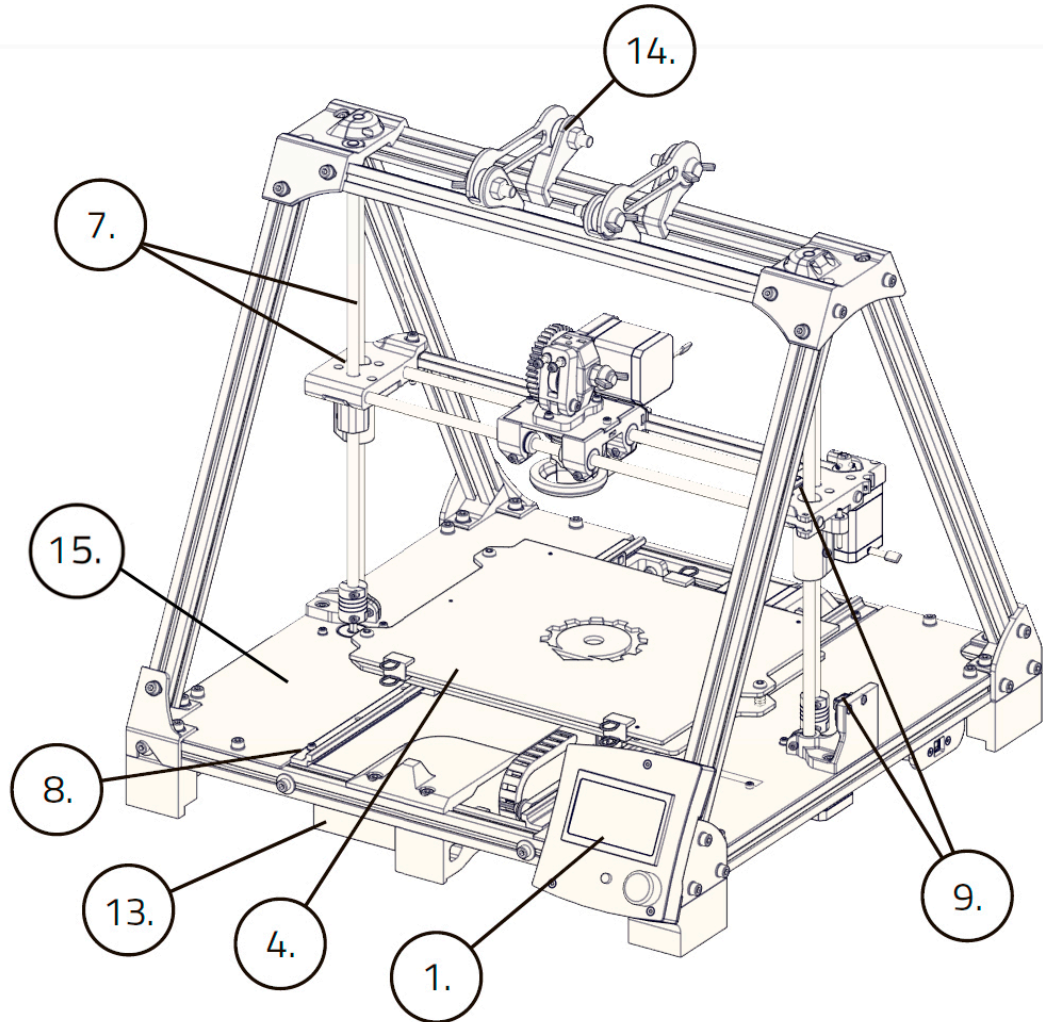


Fig. 7.6. Vista perspectiva esquemàtica.

- |                      |                               |
|----------------------|-------------------------------|
| 1. Pantalla LCD      | 8. Guies eix Y                |
| 2. Ranura targeta SD | 9. Finals de carrera          |
| 3. Connector USB     | 10. Motors pas a pas          |
| 4. Llit calent       | 11. Presa de corrent          |
| 5. Extrusor          | 12. Botó d'encesa             |
| 6. Guies eix X       | 13. Font d'alimentació        |
| 7. Guies eix Z       | 14. Suport bobina de filament |
|                      | 15. Bancada                   |

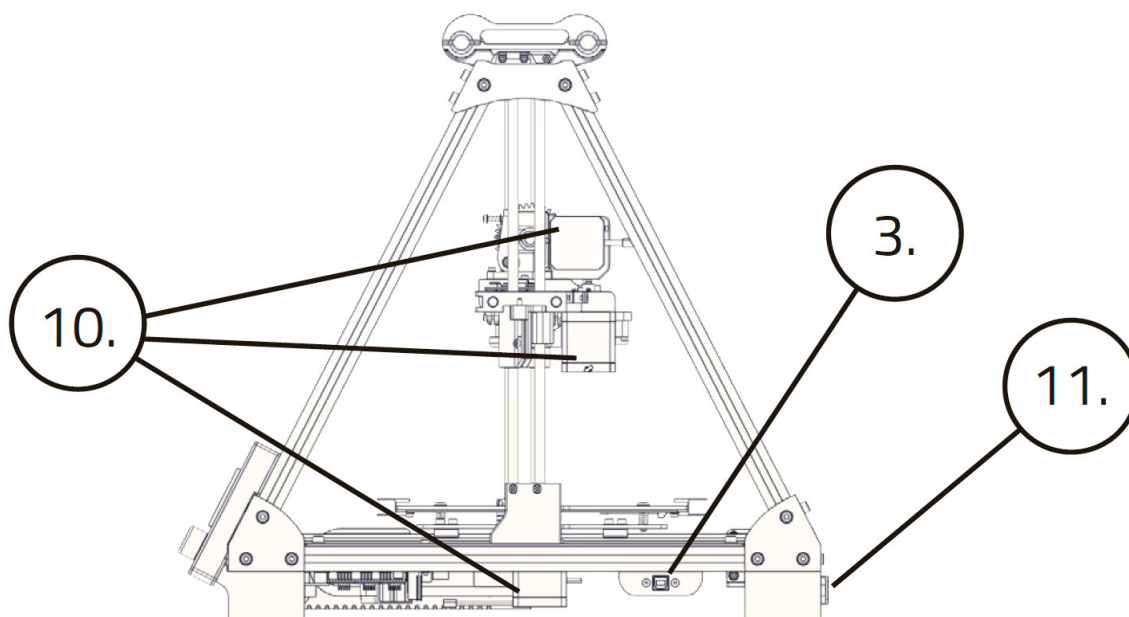


Fig. 7.7. Vista esquerra esquemàtica.

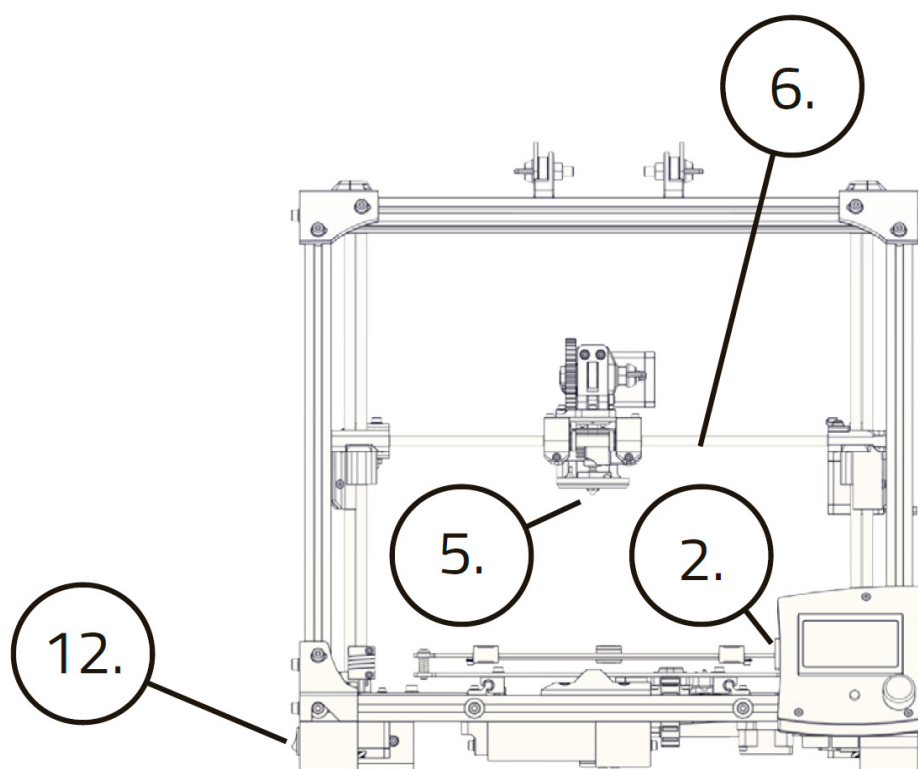


Fig. 7.8. Vista frontal esquemàtica.

Les següents figures destaquen els diferents elements del bloc extrusor i la placa microcontroladora:

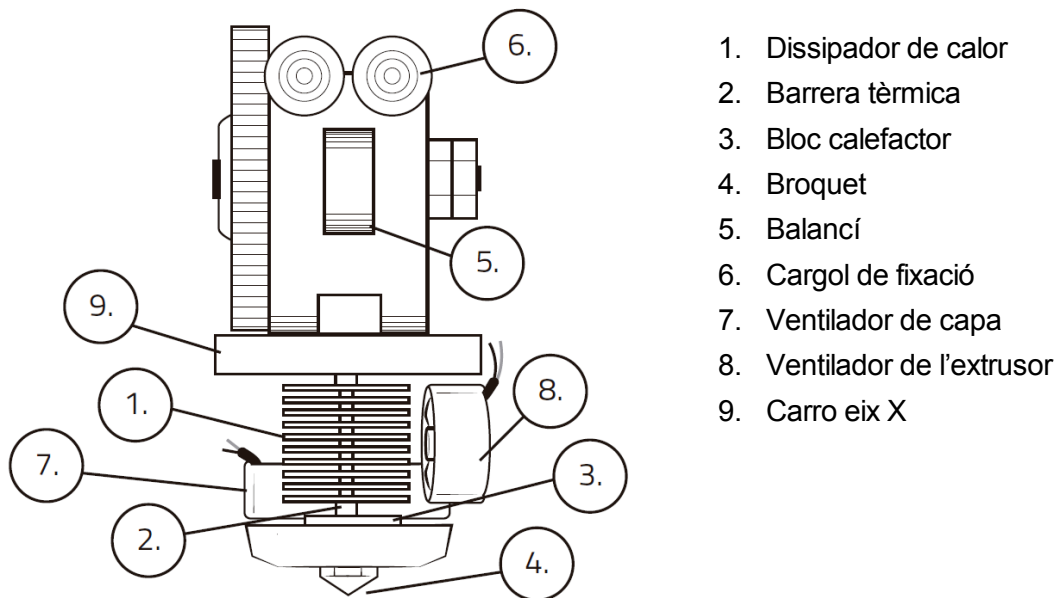


Fig. 7.9. Vista esquemàtica de les parts de l'extrusor.

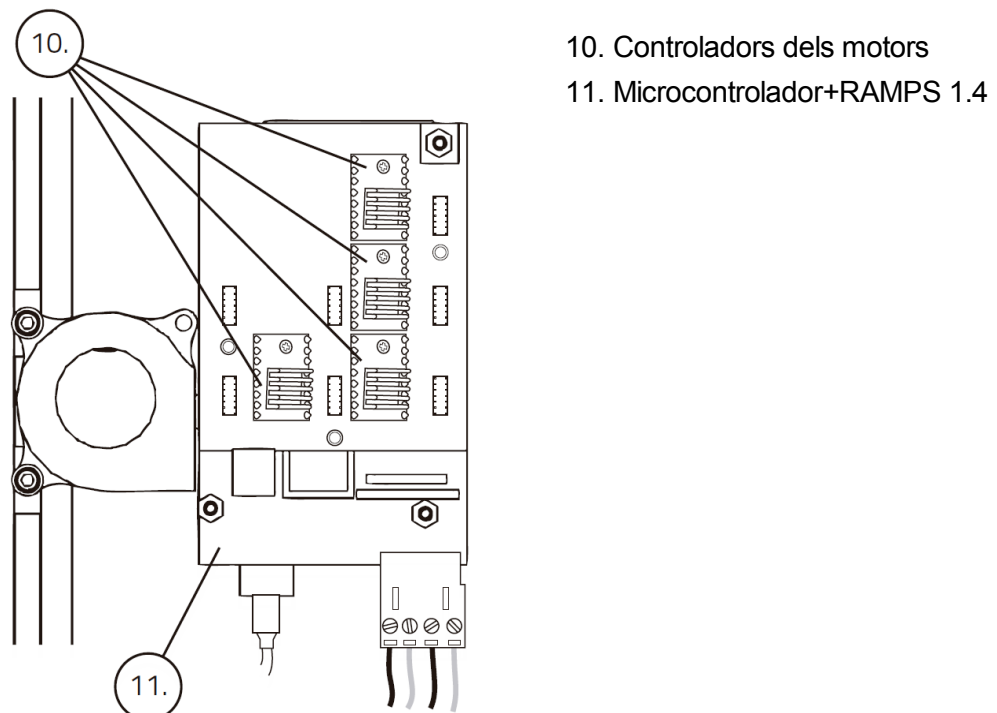


Fig. 7.10. Vista esquemàtica dels elements del microcontrolador.

## 7.4. Descripció de l'aparell

Tal com mostra el diagrama de la Fig.7.11, la BCN3D+ es pot estructurar en varis subsistemes. Aquesta subdivisió permet un enfocament més aclaridor de les Directives i dels aspectes de seguretat de l'aparell. A continuació es realitza una descripció dels elements principals de cada subsistema. Per a més informació, consultar l'*Annex A Manual d'Instruccions de la BCN3D+*.

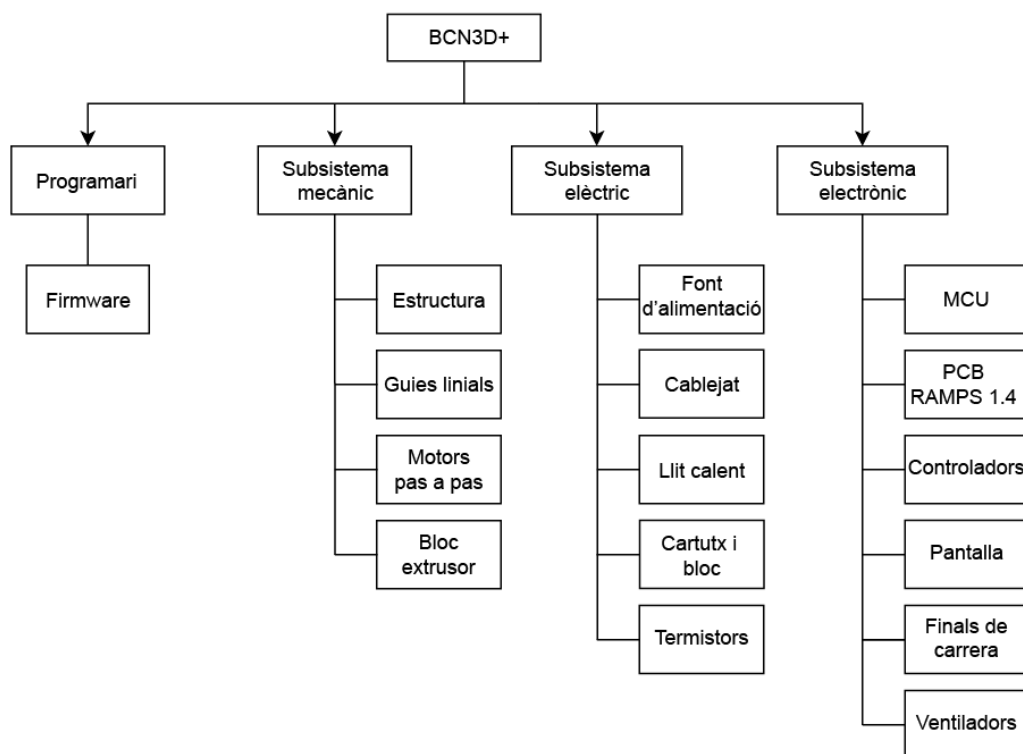


Fig. 7.11. Diagrama de subsistemes de la BCN3D+.

### ▪ Subsistema mecànic

El subsistema mecànic es compon dels elements més constructius de l'aparell. S'inclouen també els motors, que malgrat estan alimentats amb electricitat, són els principals generadors de moviment a l'aparell, i per tant, de riscos de tipus mecànic (aixafament, atrapament, etc. )

Els elements calefactors, com el llit calent o la resistència de l'extrusor, s'han considerat part del sistema elèctric, donat que són resistències elèctriques pures.

- Carros i guies lineals. Són els carrils per on es desplaça el llit calent. L'aparell disposa de 3 eixos de moviment, XYZ. El moviment de l'eix Z està implementat amb dues varetes roscades. L'eix Y es defineix per mitjà d'una guia lineal a la bancada. L'eix X es desplaça conjuntament amb l'eix Z. Consisteix en un carro amb coixinets lineals que llisca sobre unes varetes llises.

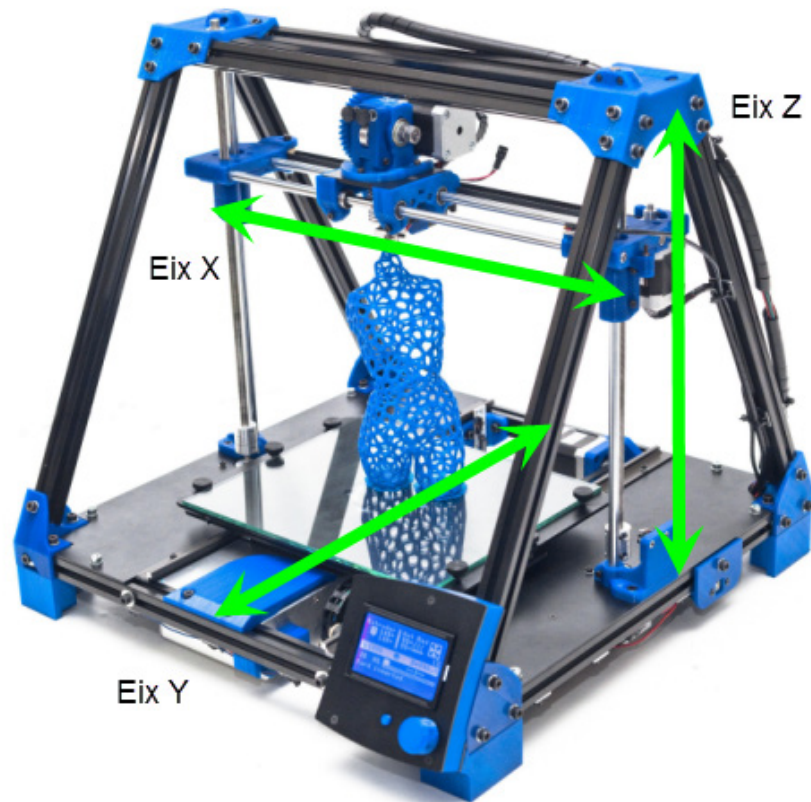


Fig. 7.12. Esquema de la màquina indicant els eixos de moviment.

- Motors pas a pas (x5). S'encarreguen de transmetre moviment a les parts mòbils. Són motors de tipus pas a pas. Aquest tipus de motors permeten controlar la posició l'eix de gir de manera ràpida i precisa.
  - El moviment en l'eix Z s'aconsegueix per mitjà de dos motors, que giren simultàniament sobre de dues varetes roscades.
  - El moviment en l'eix Y s'aconsegueix per mitjà d'un motor i d'una corretja de transmissió síncrona, unida al llit calent.
  - El moviment en l'eix X s'aconsegueix per mitjà d'un motor i una corretja síncrona, unida al bloc extrusor.

- L'extrusió del fil de plàstic s'aconsegueix per mitjà d'un motor, una reducció d'engrenatges i un cargol d'arrossegament grafilat.

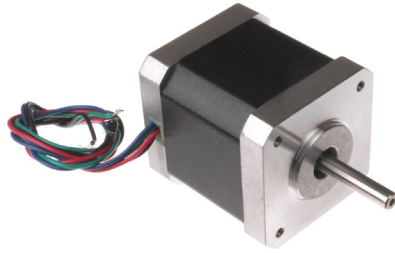


Fig. 7.13. Motor de pas a pas.

- o Bloc Extrusor. És l'encarregat de garantir l'alimentació de plàstic, així com d'escalfar el material fins a una temperatura adequada. Això s'aconsegueix a partir dels següents elements:

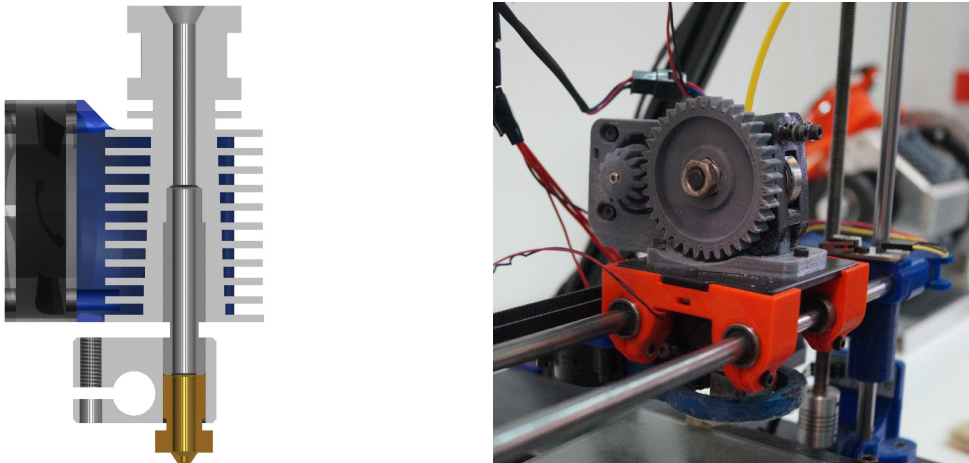


Fig. 7.14. Bloc extrusor, secció esquemàtica (esq.) i vista a l'aparell (dreta).

- i. Broquet. És una punta de llautó amb un forat d'un diàmetre determinat, per on s'extrudeix el material d'impressió prèviament escalfat.



Fig. 7.15. Broquet extrusor.



- ii. Aletes de dissipació de calor. Peça d'alumini, que té la funció d'impedir que la calor aplicada a l'extrusor es transmeti aigües amunt del fil de plàstic. (l'escalfament s'ha de produir a la zona propera al broquet, del contrari, afectaria al mecanisme d'alimentació del plàstic).

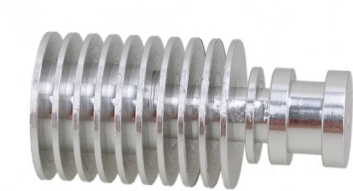


Fig. 7.16. Aletes de dissipació.

- iii. Cargol grafilat i engranatges. L'alimentació del plàstic s'aconsegueix per arrossegament, a través d'un cargol texturat (grafilat) que pressiona el fil i el fa avançar.



Fig. 7.17. Cargol grafilat d'arrossegament del fil de plàstic.

#### ▪ Subsistema elèctric

- Font d'alimentació commutada AC-DC. És un dispositiu que transforma el corrent elèctric altern de la xarxa a un corrent continu, apte per a l'aplicació de la impressora FFF. La font de la BCN3D+ funciona a la tensió usual de la xarxa elèctrica europea, en un rang de 110-240V, 50-60Hz, i proporciona 12V de sortida, amb un màxim de 30A (360W de potència màxima).

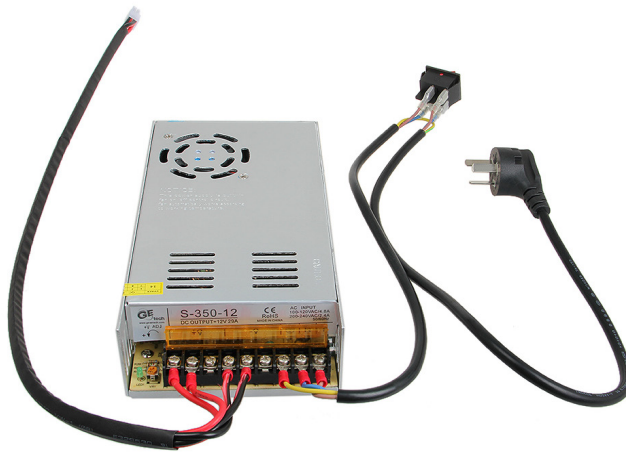


Fig. 7.18. Font d'alimentació commutada.

- Cablejat. Els cables permeten la connexió de tots els elements elèctrics i electrònics. S'ha de distingir els cables per on circula corrent d'alimentació de l'aparell (provinents de la xarxa), corrent de control (provinent del MCU) i corrent de senyal (provinent dels sensors).



Fig. 7.19. Diferents cables de la BCN3D+.

- Llit calent. És una placa resistiva que adquireix temperatura per efecte Joule. És el suport sobre el qual es sustenten les impressions, i té unes mides de  $214 \times 214 \text{ mm}^2$ . El seu objectiu és mantenir les peces a una certa temperatura durant la impressió. Això alleuja problemes de corbament del material, ja que es redueix el gradient de temperatura entre el material que surt de l'extrusor i el material ja dipositat. El llit calent està cobert per una placa metàl·lica i una capa de vidre, que es poden retirar per a la seva neteja.





Fig. 7.20. Llit calent.

- Cartutx i bloc calefactors. El cartutx calefactor és una resistència tèrmica, encarregada d'escalfar el plàstic d'impressió per efecte Joule. Es troba allotjat dins d'un bloc metàl·lic (alumini), que fa de camisa tèrmica i transmet el calor al broquet extrusor.



Fig. 7.21. Cartutx calefactor.

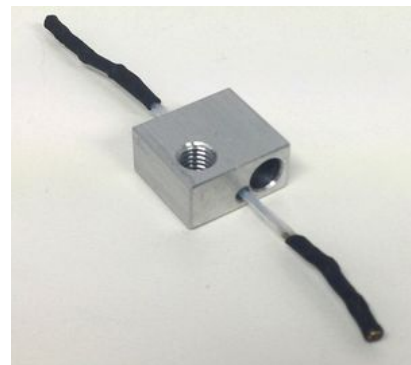


Fig. 7.22. Bloc calefactor.

- Termistors (x2). Són sensors tèrmics. Es col·loquen al llit calent i al bloc metàl·lic de l'extrusor. Permeten que el microcontrolador monitori els elements calents de l'aparell, i gestioni la circulació de corrents elèctrics.

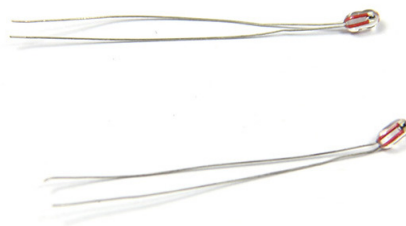


Fig. 7.23. Termistors.

## ▪ Subsistema electrònic

- Microcontrolador (Microcontroller Unit, MCU). El MCU és el component electrònic que governa la impressora. Conté un circuit integrat, un oscil·lador i una memòria internes, que li permeten emmagatzemar un programa de gestió (firmware) i processar ordres. La BCN3D+ utilitza un dispositiu de tipus FOSH, el model Arduino Mega 2560 dissenyat per l'empresa Arduino LLC. És una placa d'ús generalista, enfocada al prototipat i al desenvolupament de petits projectes.

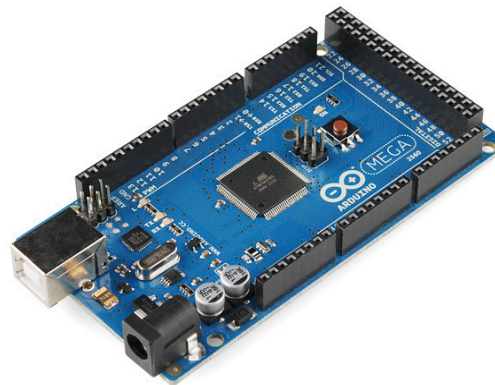


Fig. 7.24. Arduino Mega 2560.

- Placa RAMPS 1.4. És una placa de circuit imprès (PCB) conformada per un conjunt d'elements electrònics estàndard, com condensadors, transistors i resistències. S'acobla al MCU de manera manual, per encaix de pins. La seva funció és facilitar la connexió dels elements electrònics al MCU, i completar el circuit electrònic de la impressora. S'ha concebut completament des de la comunitat RepRap, amb l'objectiu de poder aprofitar les plaques Arduino com a nucli de les impressores FFF. Inclou també dos fusibles de protecció, amb valors de tall de 11A i 5A respectivament.

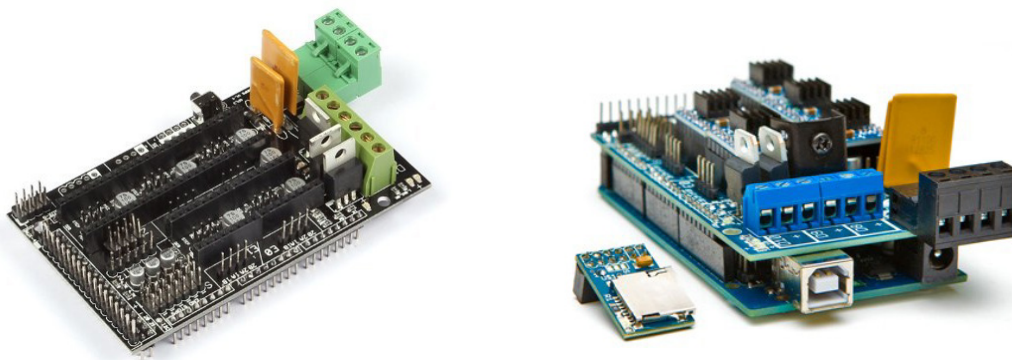


Fig. 7.25. Placa RAMPS 1.4 (esq.). Plaques Arduino i RAMPS 1.4 connectades (dreta).

- Controladors dels motors. Són uns petits components electrònics que permeten corregir el corrent que arriba als motors. Incorporen unes petites aletes de refrigeració.

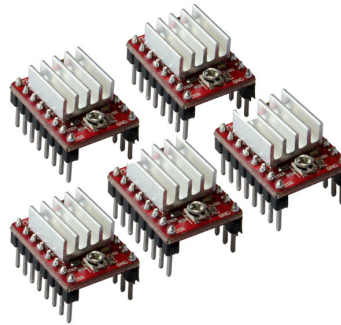


Fig. 7.26. Controladors dels motors.

- Pantalla. Permet operar l'aparell sense connectar-lo a un ordinador. Incorpora una ranura d'entrada per a targetes de memòria tipus micro SD, des d'on es poden llegir arxius G-code prèviament emmagatzemats.

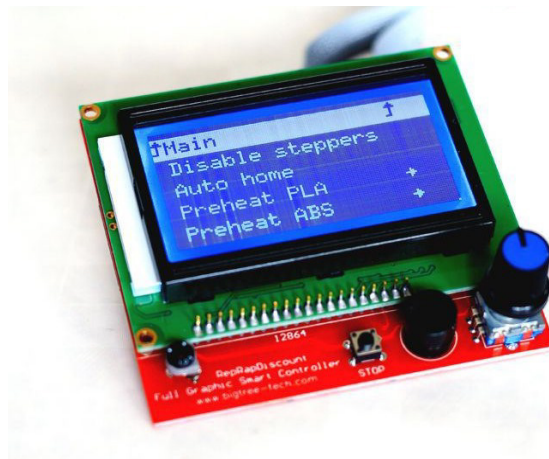


Fig. 7.27. Pantalla de la BCN3D+.

- Polsadors de final de carrera (x3). Són uns components electrònics que es col·loquen al final del trajecte dels eixos de moviment. Indiquen al microcontrolador que s'ha assolit el final del recorregut per a un eix de moviment determinat.

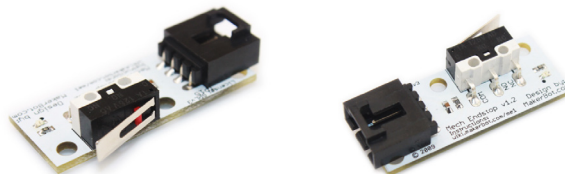


Fig. 7.28. Polsadors de final de carrera.

- Ventiladors. L'aparell incorpora 3 ventiladors. Un està dedicat a refrigerar el MCU i la RAMPS 1.4. Un altre refrigera les aletes de l'extrusor. El tercer ventilador, anomenat 'de capa', està ubicat a l'extrusor, i la seva finalitat es refredar el plàstic a mida que surt del broquet. D'aquesta manera s'aconsegueix que aquest solidifiqui més ràpidament, i la impressió de la capa següent es realitzi amb més facilitat.

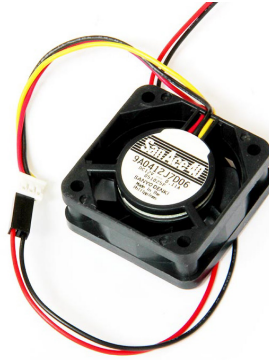


Fig. 7.29. Ventilador.

## 7.5. Cadena operativa d'impressió

El funcionament del lot BCN3D+ es comú a la resta de sistemes FFF domèstics. A continuació es mostra el diagrama de blocs de les etapes requerides per una operació d'impressió, amb les operacions i actors principals. Veure l'*Annex A: Manual d'instruccions de la BCN3D+* per a una informació detallada.

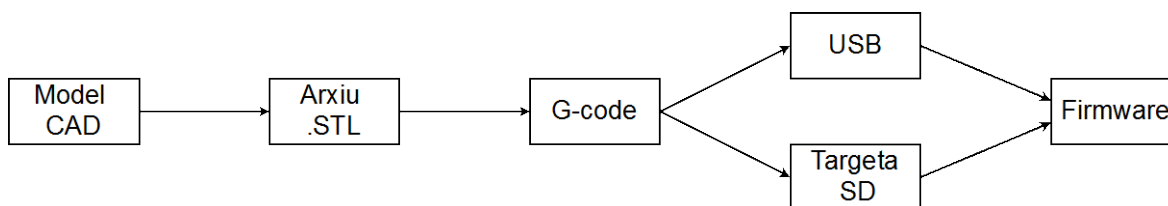


Fig. 7.30. Cadena operativa de la BCN3D+.

- 1) **Geometria CAD.** En primer lloc cal disposar d'un model digital 3D que es vol imprimir. És obligatori que la geometria formi un volum tancat. Per a obtenir la geometria es pot recórrer a programes de modelat (comercials o FOSS), o consultar biblioteques virtuals de models a Internet.

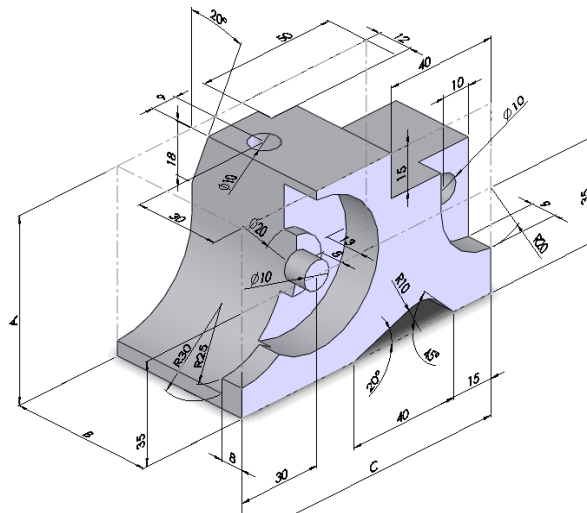


Fig. 7.31. Imatge d'una peça modelada per un sistema CAD.

- 2) **Fitxer \*.STL.** El fitxer CAD s'ha de convertir a un format intermediari, d'extensió \*.STL. Aquest format realitza una versió triangularitzada de la geometria inicial. En general, tots els programes de modelat CAD inclouen la opció de generar arxius STL. Alternativament, existeixen programes dedicats exclusivament al tractament d'aquest tipus d'arxius. El programa NetFabb n'és un exemple de tipus FOSS.

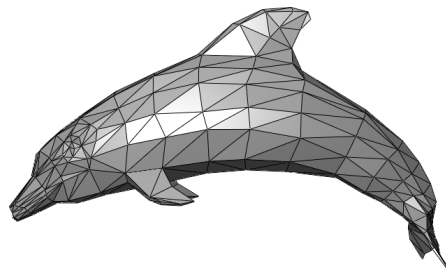


Fig. 7.32. Imatge d'una peça triangularitzada.

- 3) **Generació del codi de mecanitzat.** Un cop es té l'arxiu triangularitzat \*.STL cal convertir-lo a un arxiu de mecanitzat. Aquests arxius tenen la extensió \*.gcode, i es coneixen simplement com a arxius G-code.

El G-code és un llenguatge informàtic usat a les màquines de fabricació digital, tant de fabricació additiva com subtractiva. Consisteix en una llista d'instruccions que tradueixen la geometria en accions de màquina, com per exemple, posicions i velocitats dels eixos de l'aparell, temperatures del llit calent i de l'extrusor, etc.

Existeixen diversos programes FOSS per a generar arxius G-code a partir d'arxius \*.STL, i es poden consultar a la web del projecte RepRap. Per exemple: Slic3r, Cura, Skeinforge.

```

generated by Slic3r 0.7.1 on 2012-08-27 at 14:36:23

; layer_height = 0.35
; perimeters = 3
; solid_layers = 3
; fill_density = 0.15
; nozzle_diameter = 0.5
; filament_diameter = 2.81
; extrusion_multiplier = 0.983
; perimeter_speed = 30
; infill_speed = 30
; travel_speed = 60
; extrusion_width_ratio = 0
; scale = 1
; single wall width = 0.58mm

M190 S110 ; set bed temperature
M104 S220 ; set temperature
G28 ; home all axes
M109 S220 ; wait for temperature to be reached
G90 ; use absolute coordinates
G21 ; set units to millimeters
G92 E0 ; reset extrusion distance
M82 ; use absolute distances for extrusion
M107
G1 Z0.485 F3600.000
G1 X48.530 Y108.258
G1 F900.000 E0.47500
G1 X50.150 Y107.018 F600.000 E0.54484
G1 X50.580 Y106.758 E0.56205
G1 X50.800 Y106.648 E0.57047

```

Fig. 7.33. Exemple d'un arxiu de G-code.

#### 4) Transferència de G-Code. Amb l'arxiu G-Code ja es pot començar a imprimir.

Per a fer-ho, cal transferir l'arxiu G-code al microprocessador de la impressora, per tal que el firmware el pugui llegir. En aquest cas, la BCN3D+ ofereix dos possibles procediments:

- Mitjançant una targeta de memòria. La BCN3D+ disposa d'una pantalla LCD amb una ranura lateral, on s'hi pot inserir una targeta de memòria tipus SD. Un cop inserida, cal navegar pel menú de la pantalla i indicar el G-code emmagatzemat per a iniciar la impressió.
- Connectant l'aparell a l'ordinador a través d'una connexió USB. En aquest cas es necessita un programa intermediari, denominat 'G-code Sender'. Aquest serveix per a enviar les comandes dels arxius G-Code al microprocessador de la impressora. En general, també funcionen com a interfície de monitoratge de l'activitat d'impressió. Alguns exemples de programaris de tipus FOSS són: PrintRun/Pronterface, Repetier-Host, RepRap Host Software, Cura, ReplicatorG.

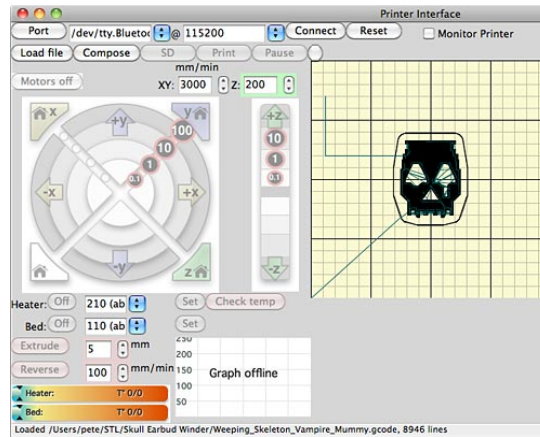


Fig. 7.34. Interfície d'usuari de l'activitat d'impressió mitjançant l'aplicació PronterFace.

- 5) **Firmware.** Per últim, el firmware és el codi informàtic que es troba emmagatzemat als dispositius electrònics i governa totes les seves funcions. Sense aquest codi, els aparells són només una peça de ferralla. En el cas de la BCN3D+, es troba dins la memòria del MCU. Entre les funcions que realitza es poden citar: coordinar el moviment dels motors, enviar el corrent que circula pels elements calefactors, monitorar els termistors, etc. Existeixen diferents models de firmware elaborats per a aquesta aplicació. La BCN3D+ utilitza el conegut com a Marlin.



## 8. Normalització a la Unió Europea

L'objectiu principal del present treball és contrastar les característiques de l'aparell d'impressió BCN3D+ amb la regulació europea de productes, per tal que aquest es pugui distribuir al mercat europeu. El mercat europeu, anomenat Espai Econòmic Europeu (EEE), és un mercat comú, compostat pels 28 Estats membres de la UE i Islàndia, Noruega i Liechtenstein, països membres de l'Associació Europea de Lliure Comerç (AELC).

Tot producte que té intenció de distribuir-se en aquest mercat ha de complir amb uns requisits, estipulats pel màxim òrgan de govern europeu, la Comissió Europea. Això es realitza per mitjà d'uns documents de bàsic compliment, les Directives.

### 8.1. Comissió Europea i Directives

La Comissió Europea és una institució políticament independent, que representa i defensa els interessos de la Unió Europea (UE) i en regenta el poder executiu. La seva tasca principal és proposar lleis entorn de polítiques i programes d'acció, així com aplicar les decisions del Parlament Europeu (PE) i del Consell de la Unió Europea (CUE).

La Comissió actua com a gabinet de govern amb els 28 membres de la Comissió. Hi ha un representant per a cada Estat membre, encara que els membres estan obligats a representar els interessos de la UE en el seu conjunt, per comptes del seu estat natal.

Tal com està previst al Tractat de la unió europea, la UE elabora tres tipus de disposicions legislatives principals:

- **Reglaments:** Equivalen a les lleis nacionals, excepte que s'apliquen a tots els països membres.
- **Directives:** Introdueixen principis bàsics, però deixen la seva implementació pràctica a mans dels governs, a través de les seves respectives normatives nacionals.
- **Decisions:** Regulen qüestions concretes, i només s'apliquen a les persones o organitzacions a les que fan referència.

Les Directives són textos que determinen els requisits mínims de seguretat i salut que han de complir els productes i serveis que es comercialitzen a la Unió Europea. Afecten tant als productes fabricats a la UE com als productes importats des de l'exterior. Són textos



jurídicament vinculants en la seva totalitat, que entren en vigor a partir de la seva publicació al Diari Oficial de la Unió Europea (DOUE). S'identifiquen per una referència com la següent:

<b>Directiva 2006/42/CE</b>	2006	Any de publicació
	42	Número de directiva
	CE	Directiva de la Comunitat Europea

Fig. 8.1. Nomenclatura tipus de les Directives europees.

Els Estats membres tenen l'obligació de transposar-les al Dret Nacional, dins d'un període de temps determinat. En el cas de l'estat espanyol, la transposició es realitza per mitjà d'un **Real Decreto** publicat al **Boletín Oficial del Estado (BOE)**.

## 8.2. Normes europees i Actors normalitzadors

En general, les normes són indicacions voluntàries, amb les quals s'estableixen especificacions tècniques aplicables a productes, serveis, processos i mètodes d'avaluació [8]. Es desenvolupen a través del consens entre la indústria, les empreses, les administracions públiques i les demés parts interessades (comunitats d'investigadors, organitzacions de consumidors, agents socials i mediambientals). Existeixen mundialment diversos organismes dedicats a la tasca d'elaborar normes. Les normes no són documents gratuïts, i cal adquirir-les als organismes pertinents.

Les Normes Europees (EN) en particular són aquelles reconegudes per un Organisme Europeu Normalitzador (ESO). Un cop una Norma Europea és aprovada, els Organismes Nacionals de normalització han d'incorporar-la al dret nacional mitjançant una norma idèntica, retirant qualsevol altra norma nacional que pugui entrar en conflicte.

Les normes europees s'identifiquen amb una nomenclatura com la que es mostra a continuació:

<b>UNE-EN ISO 13732-1:2008</b>	
UNE	Prefix de l'Organisme Nacional Normalitzador que l'ha adoptat a un estat membre en particular. En el cas espanyol, es refereix a 'Una Norma Española', adoptada a través d'AENOR.
EN	Indica Norma Europea, adoptada pels ESO (CEN, CENELEC, ETSI).
ISO	En cas que la norma s'hagi adoptat a partir d'un text d'àmbit internacional, mostrarà l'acrònim de l'organisme d'origen (ISO, IEC, ITU).
13732	Número de referència, mantingut a través de tota la Unió Europea.
1	Part de la norma, respectivament.
2008	Any de l'adopció per l'estat membre.

Fig. 8.2. Nomenclatura tipus d'una norma transposada a la legislació d'un estat membre.

A nivell europeu, la normalització està coordinada pels tres Organismes Europeus de Normalització (ESO):

- Comitè Europeu de Normalització (CEN). Mancomuna els Cossos D'Estandardització Nacional de 33 països europeus.
- Comitè Europeu de Normalització Electrotècnica (CENELEC). És responsable de la normalització en el camp de l'enginyeria electrotècnica.
- Institut Europeu de Normes de Telecomunicació (ETSI). Produeix normes per a les Tecnologies de la Informació i Comunicació (TIC).

Altres actors que participen del procés europeu de normalització són [9]:

- Small Business Standard (SBS). Aquesta associació es va establir amb el suport de la Comissió Europea, per representar i defensar els interessos de les PIMES. També té com a missió conscienciar a les PIMES sobre els beneficis de les normes, i implicar-les en el procés normalitzador.
- Consumidors, Sindicats de Comerç i Medi ambient. Estan representats respectivament per ANEC, ETUC i ECOS.

- Organismes Nacionals de Normalització (NSBs). Gestionen la normalització a nivell nacional. Una de les seves tasques principals és adoptar i publicar les normes europees a cada estat membre.

En el cas de l'estat espanyol, l'Organisme Nacional de Normalització és AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación). És una entitat privada, independent i sense ànim de lucre. És des de l'any 1986 l'única entitat aprovada per a desenvolupar les tasques de normalització i certificació a l'àmbit espanyol. Assumeix la representació espanyola davant les organitzacions de normalització internacionals i europees [10].

En particular, les tasques que realitza són:

- Elaborar normes tècniques espanyoles amb participació oberta a totes les parts interessades, i col·laborar impulsant l'aportació espanyola a l'elaboració de normes europees i internacionals.
- Certificar productes, serveis i empreses (sistemes) conferint als mateixos un valor competitiu diferencial que contribueixi a afavorir els intercanvis comercials i la cooperació internacional.

Per últim, els diferents organismes nacionals i europeus treballen de manera coordinada amb organismes d'àmbit internacional. La següent figura mostra la correlació entre els diferents nivells normalitzadors.

Sector	Nivell internacional	Nivell europeu	Nivell nacional
General	ISO (Organització Internacional de Normalització)	CEN (Comitè Europeu de Normalització)	AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación)
Elèctric, Electrònic	IEC (Comissió Electrotècnica Internacional)	CENELEC (Comitè Europeu de Normalització Electrotècnica)	CNE (Comisión Nacional de la Energía)
Telecomunicacions	ITU (Unió Internacional de Telecomunicacions)	ETSI (Institut Europeu de Normes de Telecomunicació)	CMT (Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones)

Fig. 8.3. Correlació entre els principals organismes normatius internacionals, comunitaris i nacionals.

### 8.3. Estat normatiu de la Fabricació Additiva

Actualment no existeix un cos normatiu complet, dedicat específicament al sector de la fabricació additiva, de manera que aquest es regula per normes d'àmbit més general. La normalització en aquest camp persegueix els següents objectius:

- Establir uns nivells de qualitat dels productes, processos i serveis
- Economitzar l'ús de materials, energia, i recursos humans
- Eficiència industrial
- Millorar la comunicació entre els diferents actors del sector
- Donar suport al comerç internacional

Davant de la necessitat normalitzadora, la indústria ha començat a respondre mitjançant la creació de fòrums i comitès, tant a nivell global, nacional, com regional. A continuació es mostra una relació dels grups de treball dedicats actualment al desenvolupament normatiu d'aquest sector industrial:

#### ▪ Iniciatives nacionals europees




Estat membre	Organisme i Comitès	Logotip de l'organisme
Alemanya	• VDI : 3404, 3405	
	• DIN: NA 145-04 FB Additive Manufacturing	
França	• AFNOR: UNM 920 Fabrication additive	

Fig. 8.4. Logotip del VDI.

Fig. 8.5. Logotip del DIN.

Fig. 8.6. Logotip d'AFNOR.



Regne Unit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• BSI: Committee AMT/8 Additive manufacturing</li> </ul>	
Països Baixos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NEN: Committee 341107 Additive Manufacturing / 3D printing</li> </ul>	

Fig. 8.7. Logotip del BSI.

Fig. 8.8. Logotip del NEN.

Fig. 8.9. Iniciatives normatives nacionals en la fabricació additiva [2].

#### ▪ Iniciatives als Estats Units


Organisme i Comitès	Subcomitès tècnics	Logotip de l'organisme
ASTM: Technical Committee F42	<ul style="list-style-type: none"> <li>• F42.01 Testing Methods</li> <li>• F42.04 Design</li> <li>• F42.05 Materials and Processes</li> <li>• F42.90 Executive</li> <li>• F42.91 Terminology</li> <li>• F42.95 ISO Tag to ISO TC 261</li> </ul>	

Fig. 8.10. Logotip de l'ASTM.

Fig. 8.11. Iniciatives normatives nord-americanes en la fabricació additiva [11].

Normes clau publicades:

- F2792 Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies.
- F2924 Standard Specification for Additive Manufacturing Titanium-6 Aluminum-4 Vanadium with Powder Bed Fusion.
- F2971 Standard Practice for Reporting Data for Test Specimens Prepared by Additive Manufacturing.
- F3049 Standard Guide for Characterizing Properties of Metal Powders Used for Additive Manufacturing.
- F3091 Standard Specification for Powder Bed Fusion of Plastic Materials.

### ▪ Iniciatives Internacionals


Organisme i Comitès	Grups de treball	Logotip de l'organisme
ISO: Technical Committee 261	<ul style="list-style-type: none"> <li>• WG 01 Terminology</li> <li>• WG 02 Methods, processes and materials</li> <li>• WG 03 Test methods</li> <li>• WG 04 Data and Design</li> </ul>	 <p>Fig. 8.12. Logotip de l'ISO.</p>

Fig. 8.13. Iniciatives Internacionals normatives en la fabricació additiva [12].

#### Normes clau publicades:

- ISO 17296-2:2015 Additive manufacturing -- General principles -- Part 2: Overview of process categories and feedstock.
- ISO 17296-3:2014 Additive manufacturing -- General principles -- Part 3: Main characteristics and corresponding test methods.
- ISO 17296-4:2014 Additive manufacturing -- General principles -- Part 4: Overview of data processing.
- ISO/ASTM 52915:2013 Standard specification for additive manufacturing file format (AMF) Version 1.1.
- ISO/ASTM 52921:2013 Standard terminology for additive manufacturing -- Coordinate systems and test methodologies.

Els subcomitès ISO/TC261 i ASTM F42, de la ISO i ASTM respectivament, treballen conjuntament per a elaborar normes internacionals per a la fabricació additiva. L'estructura normativa acordada entre les dues organitzacions es mostra en el següent diagrama:

## Structure of AM Standards

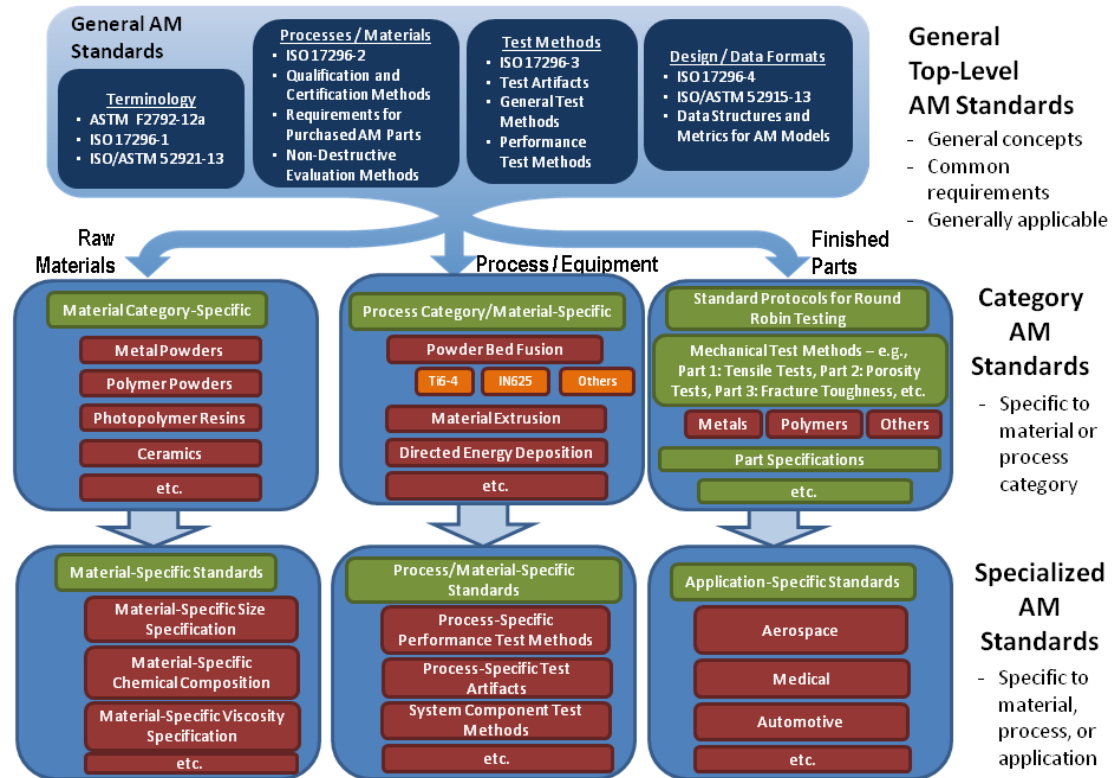


Fig. 8.14. Esquema normatiu per a la Fabricació Additiva pactat entre l'ISO i l'ASTM [2].

### ▪ Iniciatives de la Comissió Europea

A nivell europeu, la Comissió Europea ha creat el projecte SASAM, acrònim per a Support Action for Standardisation in Additive Manufacturing [13].

La seva missió és conduir el creixement de la manufactura additiva cap a processos eficients i sostenibles, integrant i coordinant activitats de normalització a Europa, per mitjà de la creació i el suport d'una organització normalitzadora en el camp de la manufactura additiva.

La fulla de ruta de la plataforma es mostra a la figura següent. Les prioritats es separen en tres categories: Qualitat del producte, Materials (metalls, polímers, ceràmics), i Altres aspectes.

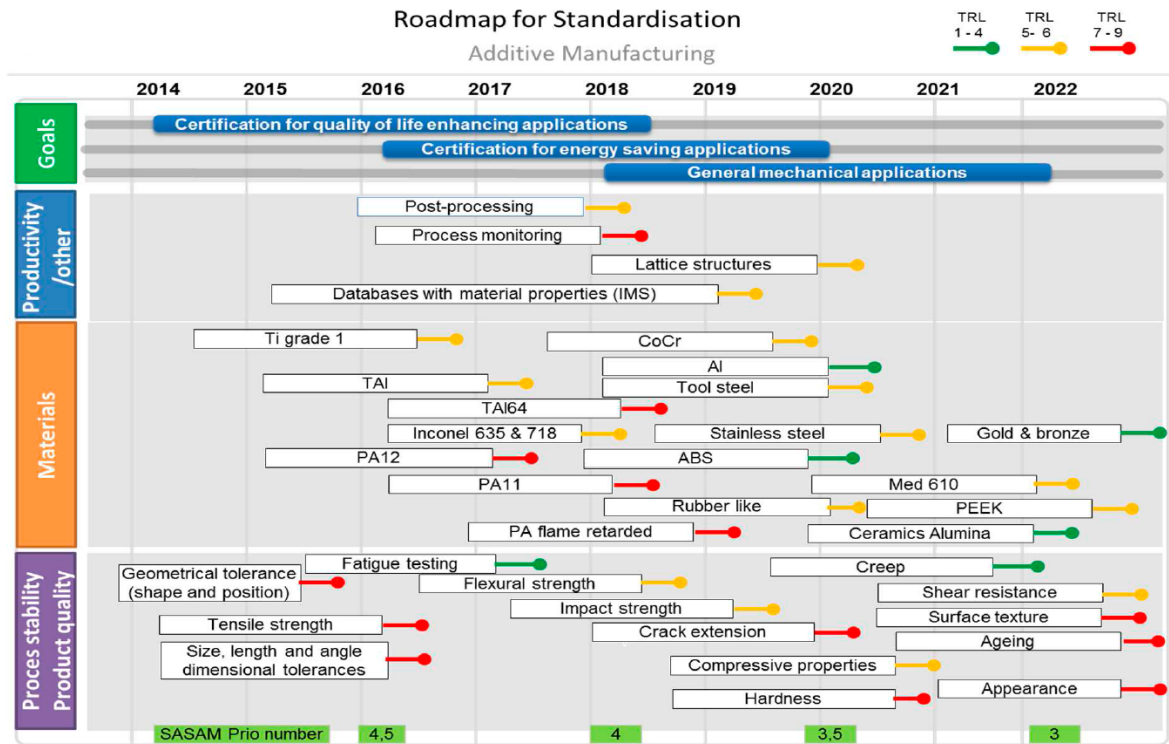


Fig. 8.15. Fulla de ruta del projecte SASAM per a la normalització de la fabricació additiva [1].

## 8.4. Harmonització tècnica i Nou enfocament

Les Normes Harmonitzades són un tipus concret de Normes Europees que faciliten l'aplicació de la legislació de la UE sobre productes i serveis [8]. Són elaborades pels ESO seguint una petició (un mandat) de la Comissió Europea. La llista completa de normes harmonitzades es pot consultar al Diari Oficial de la Unió Europea (DOUE).

L'harmonització de les normes tècniques té com a objectius suprimir els obstacles que dificulten el comerç comunitari de mercaderies, així com garantir un alt nivell de seguretat pels consumidors. En el passat, les divergències normatives entre els diferents estats membres obstaculitzaven la lliure circulació de les mercaderies dins el mercat únic.

L'harmonització tècnica s'ha implementat a través de l'adopció de les Directives conegudes com de «Nou Enfocament». Aquest «nou enfocament» consisteix a dividir les responsabilitats entre el legislador europeu i els ESO, i es descriu pels següents principis fonamentals [15]:



- Les Directives Europees es limiten a definir uns «requisits fonamentals» per a assegurar la protecció de la salut i la seguretat dels consumidors, i/o la protecció del medi ambient (Requisits Elementals de Seguretat i Salut, RESS).
- Els ESO s'encarreguen d'elaborar les corresponents Normes Harmonitzades, que proposen solucions tècniques per a complir amb els requisits fonamentals establerts a les Directives. La llista de Normes Harmonitzades adequades per a cada Directiva es publica periòdicament en el Diari Oficial de la Unió Europea.
- Es suposa que els productes que compleixen amb les Normes Harmonitzades compleixen també amb els corresponents requisits fonamentals de les Directives (Presumpció de Conformitat ), i els Estats membres han d'acceptar la lliure circulació d'aquests productes.
- L'ús d'aquestes normes segueix sent voluntari. És possible adoptar normes alternatives, però en aquest cas els fabricants tenen l'obligació de demostrar que els seus productes compleixen amb els requisits fonamentals.

A més de facilitar la lliure circulació de mercaderies, el compliment de les normes reforça la confiança en les empreses, ja que [8]:

- Permeten que els productes i serveis siguin comparables i compatibles.
- Demostren el compromís de les empreses amb la qualitat, la seguretat i la fiabilitat.
- Eviten incerteses i duplicacions.
- Augmenten la competitivitat mundial de les empreses europees.

## 8.5. Marcatge CE

Tot producte comercialitzat a l'EEE afectat per una Directiva de Nou Enfocament ha de posseir el Marcatge CE. Aquest s'aplica no només als productes fabricats a l'EEE, sinó també als venuts a l'EEE, incloent aquells que es fabriquen a d'altres països [16].

Concretament, el marcatge CE és un procés a través del qual els fabricants transmeten que:

- Han comprovat que el producte compleix amb els requisits essencials sobre salut, seguretat i protecció mediambiental de la legislació comunitària pertinent.
- Han sotmès el producte a l'examen d'avaluació de conformitat d'un organisme independent (en cas que la Directiva pertinent ho requereixi).

Es pot reconèixer per un símbol identificatiu col·locat a sobre del producte, a la vista del consumidor.



Fig. 8.16. Producte mostrant la marca CE.

### 8.5.1. Obtenció del marcatge CE

El marcatge CE és un procés que avalua la totalitat d'un producte. Aquest fet és important, ja que l'assemblatge d'un conjunt de components o subsistemes, que individualment posseeixen el marcatge CE, no dona com a resultat i de manera automàtica un dispositiu que posseeix el marcatge CE.

El procés consisteix en sis passos:

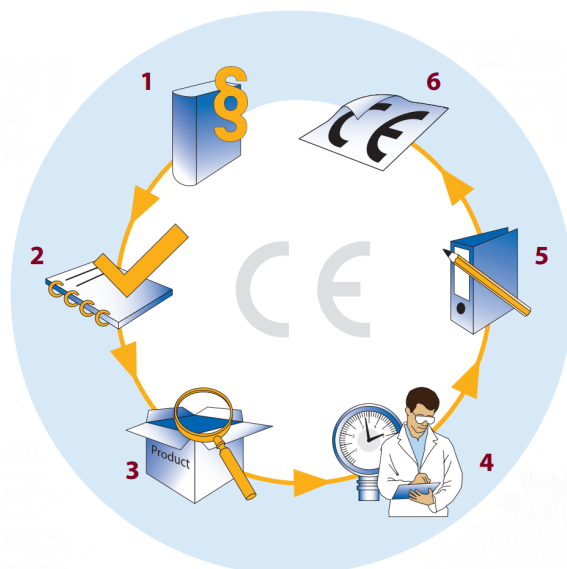


Fig. 8.17. Esquema dels passos necessaris per a obtenir el marcatge CE d'un producte.

### **1) Identificar les Directives aplicables al producte**

Quan un productor decideix introduir un producte al mercat de l'EEE, la primera pregunta que cal que es formuli és: *"Quines Directives fan referència a característiques presents al meu producte?"*. Existeixen més de 20 directives que estableixen les categories de producte que requereixen el marcatge CE.

### **2) Identificar les Normes Harmonitzades aplicables**

Les normes harmonitzades europees expressen, amb termes tècnics detallats, els Requisits Essencials de Seguretat i Salut estipulats a les Directives de nou enfocament. La llista de normes harmonitzades aplicables a cada Directiva es troba publicada al Diari Oficial de la Unió Europea.

L'ús de Normes Harmonitzades és molt recomanable, tot i que la seva aplicació és voluntària, i es poden escollir altres formes de complir amb els Requisits Essencials. Si s'apliquen les Normes Harmonitzades europees pertinents des de la fase de disseny, es donarà una "presumpció de conformitat" amb els Requisits Essencials durant l'Avaluació de Conformitat.

### **3) Avaluació de la Conformitat**

L'Avaluació de la Conformitat és el procediment pel qual es comprova la conformitat del producte amb la legislació de la UE. Una part d'aquest procés és, per regla general, una Avaluació del Risc.

En algunes Directives, aquest procés requereix la intervenció d'un independent per part d'algun Organisme Notificat autoritzat per la Comissió Europea. La llista completa d'organismes autoritzats es pot consultar a la base de dades NANDO (Nou Enfocament Notificat i Organismes Designats).

Per a molts productes en canvi, l'Avaluació de la Conformitat consisteix en un procés d'autocertificació realitzada pel propi fabricant.

L'ús integral de les Normes Harmonitzades concedeix al producte la "presumpció de conformitat" amb els Requisits Essencials de les Directives pertinents.

### **4) Elaboració i manteniment de la documentació tècnica**

El fabricant ha d'elaborar la Documentació Tècnica requerida per les Directives. Juntament amb la Declaració de Conformitat, la Documentació Tècnica (també anomenada Expedient

Tècnic) ha d'estar a disposició de les autoritat nacionals pertinents, en cas que així ho requereixin.

### **5) Declaració CE de Conformitat i Marcatge CE del producte**

És responsabilitat del fabricant elaborar i firmar una Declaració CE de Conformitat que garanteix que el producte compleix els requisits essencials de les Directives especificades.

El fabricant ha de realitzar el marcatge CE, col·locant el distintiu CE reglamentari sobre el producte d'una forma visible, llegible, i indeleble. Si un Organisme Notificat estigués involucrat en la fase de control de producció, el seu número d'identificació haurà d'aparèixer igualment. Finalment el producte pot sortir lliurement al mercat.

## **8.6. Directives de nou enfocament aplicables**

Tal i com s'ha mostrat, el procés de marcatge CE implica el compliment dels requeriments essencials de seguretat i salut de les Directives de Nou Enfocament. S'ha estipulat que les Directives que afecten a l'aparell de referència són les següents:

- **Directiva de Máquinas 2006/42/CE.**
- **Directiva Baja Tensión 2006/95/CE.**
- **Directiva de Compatibilidad Electromagnética 2004/108/CE.**
- **Directiva sobre RoHS 2011/65/UE.**

Les anteriors Directives afecten al disseny de l'aparell, i per tant en conformen el seu marcatge CE pròpiament dit. Altres Directes seleccionades que també són aplicables, però que no afecten al disseny estricte, són les següents:

- **Directiva sobre RAEE 2012/19/UE.**
- **Directiva sobre determinados aspectos de la venta y las garantías de los bienes de consumo 1999/44/CE.**

L'elecció d'aquestes Directives es justifica als apartats corresponents del treball. La manca de normes específiques per la fabricació additiva, no eximeix els aparells d'impressió 3D de complir amb altres normes harmonitzades específiques de cada Directiva, tal com es veurà a cadascun dels apartats.

## 9. Directiva de màquines

### Títol complet:

DIRECTIVA 2006/42/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 17 de mayo de 2006 relativa a las máquinas y por la que se modifica la Directiva 95/16/CE (refundición).

### Publicació:

DOUE Serie L, nº157.

### Transposició y/o Desenvolupament:

Real Decreto 1644/2008, de 10 de octubre, por el que se establecen las normas para la comercialización y puesta en servicio de las máquinas B.O.E. Nº 246 publicado el 11/10/08.

## 9.1. Anàlisi de la Directiva

### 9.1.1. Àmbit d'aplicació

Per decidir si el dispositiu té característiques que es veuen afectades pels requisits de la Directiva, cal consultar l'**Artículo 1 Ámbito de aplicación**. Allí se'ns mostra la llista de productes que s'inclouen dins el domini de la Directiva. Textualment:

- a) las máquinas;
- b) los equipos intercambiables;
- c) los componentes de seguridad;
- d) los accesorios de elevación;
- e) las cadenas, cables y cinchas;
- f) los dispositivos amovibles de transmisión mecánica;
- g) las cuasi máquinas.

A continuació, a l'**Artículo 2 Definiciones** es proporciona la definició de màquina. Textualment:

- a) «máquina»:  
— conjunto de partes o componentes vinculados entre sí, de los cuales al menos uno es móvil, asociados para una aplicación determinada, provisto o destinado a estar provisto de un sistema de accionamiento distinto de la fuerza humana o animal,

- conjunto como el indicado en e/l primer guión, al que solo le falten los elementos de conexión a las fuentes de energía y movimiento,
- conjunto como los indicados en los guiones primero y segundo, preparado para su instalación que solamente pueda funcionar previo montaje sobre un medio de transporte o instalado en un edificio o una estructura,
- conjunto de máquinas como las indicadas en los guiones primero, segundo y tercero, o de cuasi máquinas a las que se refiere la letra g) que, para llegar a un mismo resultado, estén dispuestas y accionadas para funcionar como una sola máquina,
- conjunto de partes o componentes vinculados entre sí, de los cuales al menos uno es móvil, asociados con objeto de elevar cargas y cuya única fuente de energía sea la fuerza humana empleada directamente;

El sistema estudiat encaixa perfectament amb la definició anterior: consisteix en un conjunt de peces vinculades entre sí, amb parts mòbils, amb un sistema d'accionament diferent de la força humana.

Tal com descriu l'**Artículo 12. Procedimientos de evaluación de la conformidad de las máquinas**, la Directiva distingeix vàries categories de màquines:

- Màquines ordinàries. Totes aquelles no incloses a l'Annex IV
- Màquines Annex IV. Màquines que la Directiva considera particularment perilloses.
- Components de seguretat

En el cas present, la BCN3D+ no es veu reflectida en els tipus de màquina de l'**Anexo IV**, per tant es tractarà com una màquina ordinària.

Aquesta distinció és rellevant, ja que determina la manera en que es realitza l'Avaluació de Conformitat de la Directiva. Per a màquines ordinàries, s'aplica el procediment de l'**Anexo VIII Evaluación de la conformidad mediante control interno de la fabricación de la máquina**:

(...)

2. Para cada tipo representativo de la serie considerada, el fabricante o su representante autorizado elaborará el expediente técnico contemplado en el anexo VII, parte A.

3. El fabricante tomará las medidas necesarias para que el proceso de fabricación se desarrolle de modo que quede garantizada la conformidad de la máquina fabricada con el expediente técnico contemplado en el anexo VII, parte A, y con los requisitos de la presente Directiva.

D'aquesta manera, el fabricant únicament ha d'elaborar l'Expedient Tècnic, i garantir que el procés de fabricació produeixi màquines conformes amb aquell i amb els requisits de la Directiva. Es tracta per tant d'un procés d'autocertificació, que el fabricant pot realitzar de manera autònoma.

La figura a continuació mostra l'itinerari per assolir la conformitat amb els principis de la Directiva:

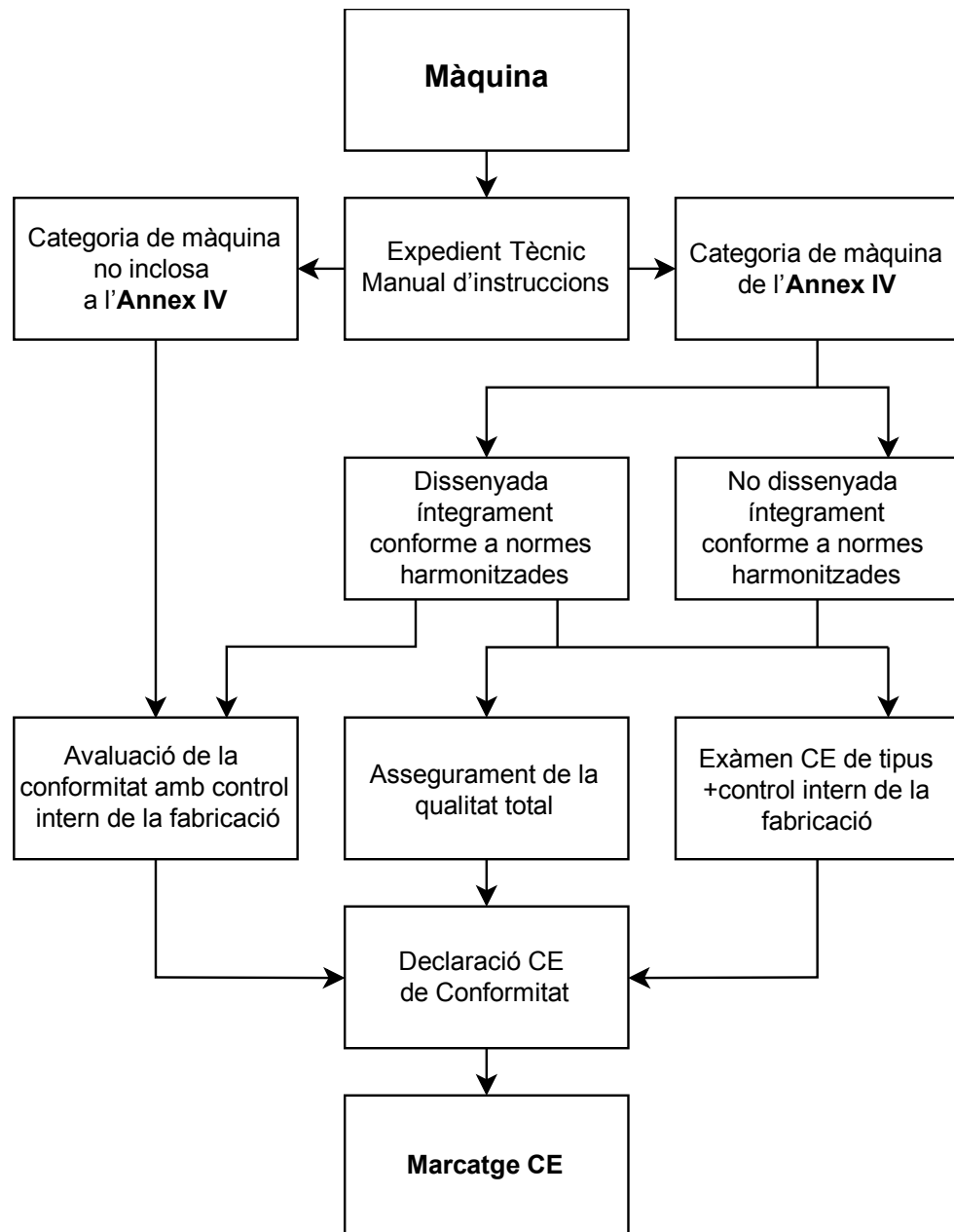


Fig. 9.1. Esquema per l'avaluació de la conformitat de màquines segons la Directiva de Màquines.

### 9.1.2. Requisits Essencials de Seguretat i Salut (RESS)

El Requisits Essencials de Seguretat i Salut (RESS) relatius al disseny i la fabricació de les màquines es descriuen a l'**Anexo I** de la Directiva. L'estructura és la següent:

- Principis generals. Especifica l'obligació dels fabricants a realitzar una Avaluació de Riscos, i a considerar els seus resultats tant en el disseny com en la fabricació de la màquina.
- Requisits d'abast general. Descriu els RESS per a tot tipus de màquines.
- Requisits específics per a:
  - Algunes categories de màquines.
  - Perills deguts a la mobilitat de màquines.
  - Perills derivats de les operacions d'elevació.
  - Màquines destinades a treballs subterranis.
  - Màquines que presenten perills particulars degut a l'elevació de les persones.

Els Requisits d'abast general descriuen les categories de perills que cal abordar en el disseny d'una màquina. Cada perill es descriu en un punt de la Directiva. Els perills que tenen relació amb la BCN3D+ són els següents:

Tipus de perill	Punt a la Directiva
Mesures de protecció contra perills mecànics	1.3
Energia elèctrica	1.5.1
Electricitat estàtica	1.5.2
Errors de muntatge	1.5.4
Temperatures extremes	1.5.5
Incendi	1.5.6
Explosió	1.5.7
Soroll	1.5.8
Emissions de materials i substàncies perilloses	1.5.13
Manteniment	1.6
Informació	1.7

Fig. 9.2. Tipus de perills i referència a l'apartat de la Directiva.

Tal com s'estipula als Principis generals, a continuació es procedeix amb l'Avaluació de riscos. Es tractaran els perills de tipus mecànic. La resta de perills es tracten de manera específica a la resta d'apartats del present treball.



## 9.2. Avaluació de riscos

Com s'ha explicat als apartats anterior, el nou enfocament legislador europeu preveu que la concreció de requisits tècnics es doni per mitjà de Normes Europees harmonitzades. Per a la tasca d'elaborar una Avaluació de Riscos, es recorre a les indicacions de les normes següents:

- **UNE-EN ISO 12100:2012. Seguridad de las máquinas. Principios generales para el diseño. Evaluación del riesgo y reducción del riesgo.**
- **Informe Técnico ISO/TR 14121-2:2012**

### 9.2.1. Terminologia

En primer lloc, la norma **UNE-EN ISO 12100:2012** introdueix una terminologia i definicions. Aquestes són necessàries per a la correcta comprensió i aplicació de la norma. Algunes de les més rellevants són:

- **Avaluació del risc** – Procés global que comprèn l'Anàlisi de riscos i la Valoració de riscos.
- **Perill** – Font de possible dany.
- **Situació perillosa** – Circumstància en la que una o varies persones es troben exposades almenys a un perill.
- **Zona perillosa** – Qualsevol espai dins i/o al voltant d'una màquina en el qual una persona pot estar exposada a un perill.
- **Succés perillós** – Succés que pot causar un dany.
- **Risc** – Combinació de la probabilitat de que es produeixi un dany i de la gravetat de tal dany
- **Dany** – Lesió física o deteriorament de la salut
- **Estimació del risc** – Definició de la gravetat més probable del dany i de la probabilitat de que aquest succeeixi.
- **Anàlisi del risc** – Combinació de la especificació dels límits de la màquina, la identificació del perill i la estimació del risc.
- **Valoració del risc** – Jutjar, conforme al resultat de l'Anàlisi del risc, si els objectius de reducció del risc s'han assolit.
- **Risc residual** - Risc que queda després de que s'hagin pres totes les mesures preventives.

- **Mesura preventiva** – Mesura prevista per a assolir la reducció del risc
- **Ús previst d'una màquina** – Ús d'una màquina d'acord amb la informació proporcionada en les instruccions per a la utilització.
- **Mal ús raonablement previsible** – Ús d'una màquina d'una manera no estipulada pel dissenyador, però que pot resultar d'un comportament humà fàcilment previsible.

### 9.2.2. Principis bàsics

La norma descriu l'Avaluació del Risc com una sèrie de passos lògics que permet analitzar i valorar, de manera sistemàtica, els riscos associats a les màquines. Es compon de l'Anàlisi del risc i la Valoració del risc, descrits a les definicions anteriors:

A. Anàlisi del Risc. Inclou al seu torn tres punts:

- i. Determinació de límits de la màquina
- ii. Identificació de perills
- iii. Estimació del risc

B. Valoració del Risc.

L'Avaluació del Risc va seguida, sempre que sigui necessari, de la Reducció del Risc. Aquest és un procés que es pot repetir reiteradament per tal d'eliminar perills, en la mesura del possible, o per reduir adequadament els riscos mitjançant la implementació de mesures preventives.

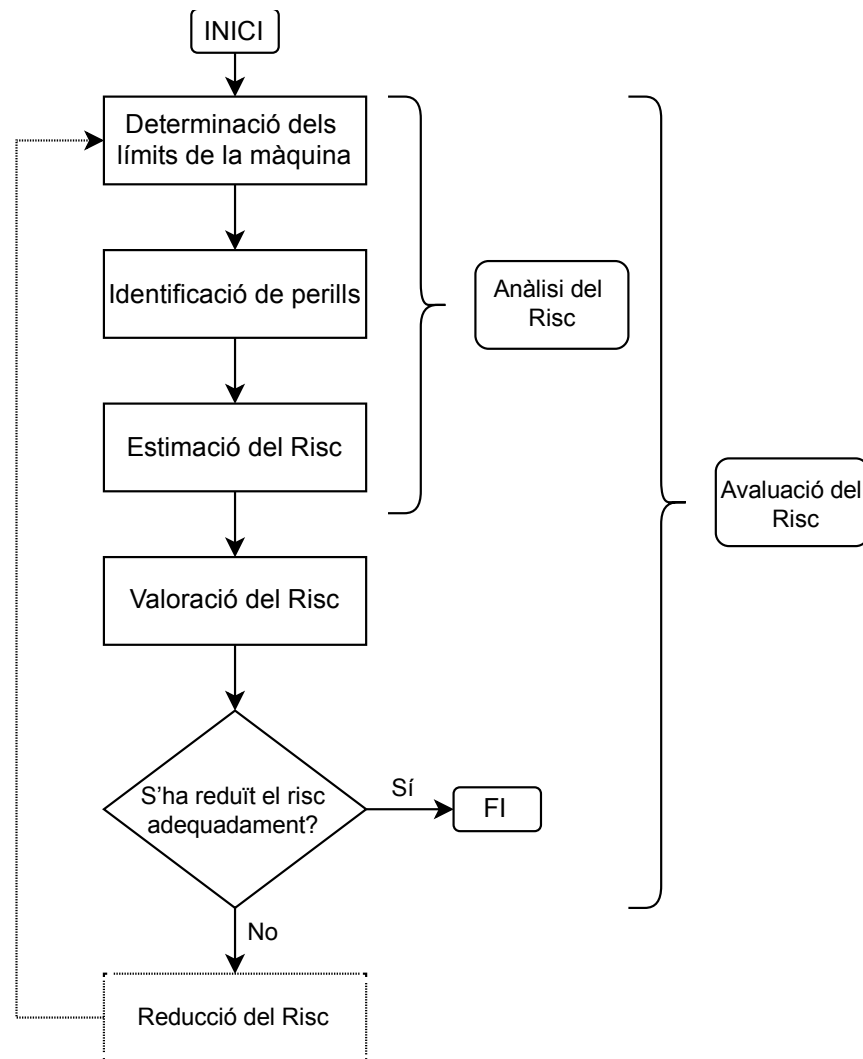


Fig.9.3. Procés iteratiu de la norma UNE-EN ISO 12100:2012 per a reduir el risc.

### 9.2.3. Límits de la màquina

L'Avaluació del Risc comença amb la determinació dels límits de la màquina, tenint present totes les fases del cicle de la vida del producte. Els límits de la màquina es descriuen amb els següents aspectes:

- límits d'ús

Els límits d'utilització inclouen l'ús previst de la màquina i el mal ús raonablement previst. Els aspectes a tenir presents són, per exemple:

- a) Els diferents modes de funcionament de la màquina, i els diferents procediments d'intervenció dels usuaris (incloent les intervencions requerides per mal funcionament durant la utilització de la màquina).
- b) L'ús de la màquina (industrial, no industrial, domèstica) per persones diferenciades per sexe, edat, la mà d'ús dominant o les aptituds físiques limitades (discapacitat visual o auditiva, talla, força). Si no es disposa d'informació específica, el fabricant ha d'usar informació general sobre la població usuària prevista (dades antropomètriques apropiades).
- c) El nivell esperat de formació, experiència o aptitud dels usuaris previstos, tals com operadors, personal de manteniment, tècnics, aprenents, públic general.
- d) L'exposició als perills associats a la màquina d'altres persones que es trobin a les seves immediacions. Això inclou:
  - Operadors de màquines contigües, coneixedors dels perills específics de la màquina.
  - Treballadors no operadors sense coneixement dels perills específics, però coneixedors dels procediments de seguretat generals del lloc de treball. Per exemple, personal d'administració.
  - Individus que no formen part de la plantilla, sense coneixement dels perills associats a la màquina ni dels procediments de seguretat. Per exemple, visitants.

- límits en l'espai

- a) Amplitud de moviments
- b) Exigències dimensionals per a les persones que interactuen amb la màquina, per exemple, durant el funcionament i el manteniment.
- c) Interacció humana i interfície "operador-màquina"
- d) Interfície "màquina-font d'alimentació d'energia".

- límits en el temps

- a) La vida límit de la màquina i/o d'alguns dels seus components (eines, parts sotmeses a desgast, components electromecànics, etc. ), tenint en compte el seu ús previst i el seu mal ús raonablement previsible.

b) Les freqüències revisió recomanades.

- altres límits

a) Propietats dels materials a processar

b) Conservació: nivell de neteja recomanat

c) Mediambiental: temperatures mínima i màxima recomanades, si la màquina es pot utilitzar a interiors o a l'aire lliure, en clima sec o humit, sota la radiació directa del sol, tolerància a la pols i l'humitat etc.

## 9.2.4. Identificació de perills

El segon pas del procés és la identificació sistemàtica de tots els perills, situacions perilloses, i successos perillosos que siguin raonablement previsibles. Per a tal tasca, és necessari identificar les operacions que realitza la màquina i les tasques dels operaris, durant totes fases del cicle de vida del producte. S'han de tenir presents les diferents parts, mecanismes, o funcions de la màquina, els materials a processar, i el medi ambient en el que s'utilitza.

L'**Anexo B** de la norma dóna, en taules separades, exemples de perills (taules B.1 i B.2), situacions perilloses (taula B.3) i successos perillosos (B.4), amb el fi de clarificar conceptes i ajudar en l'avaluació de riscos.

Nº	Tipo o grupo	Ejemplos de peligros	Apartado de esta norma internacional
1	Peligros mecánicos	Origen <sup>a</sup>	Possibles consecuencias <sup>b</sup>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aceleración, deceleración</li> <li>- Partes agudas</li> <li>- Aproximación de un elemento móvil a una parte fija</li> <li>- Partes cortantes</li> <li>- Elementos elásticos</li> <li>- Caída de objetos</li> <li>- Girovelocidad</li> <li>- Altura desde el suelo</li> <li>- Alta presión</li> <li>- Inestabilidad</li> <li>- Energía caótica</li> <li>- Movilidad de la máquina</li> <li>- Elementos móviles</li> <li>- Superficie rugosa, deslizante</li> <li>- Aristas vivas</li> <li>- Energía acumulada</li> <li>- Vacío</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ser atrapado</li> <li>- Ser proyectado</li> <li>- Aplastamiento</li> <li>- Corte o seccionamiento</li> <li>- Arrastre o atrapamiento</li> <li>- Enganche</li> <li>- Fricción o abrasión</li> <li>- Impacto</li> <li>- Inyección</li> <li>- Cizallamiento</li> <li>- Resbalón, tropiezo, caída</li> <li>- Pinchazo, perforación</li> <li>- Asfixia</li> </ul>
2	Peligros eléctricos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Arco</li> <li>- Fenómeno electromagnético</li> <li>- Fenómeno electrostático</li> <li>- Partes activas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Quemadura</li> <li>- Efectos químicos</li> <li>- Efectos en implantes médicos</li> <li>- Electrocución</li> </ul>

Fig. 9.4. Fragment de la taula B.1 de l'Annex B.


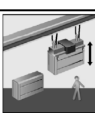

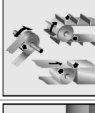
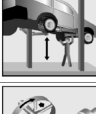

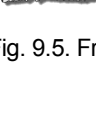
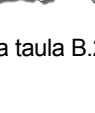
Peligro	Peligro
 <p>Origen: partes cortantes Posibles consecuencias: corte, seccionamiento</p>	 <p>Origen: Caída de objetos Posibles consecuencias: aplastamiento, impacto</p>
 <p>Origen: elementos móviles Posibles consecuencias: aplastamiento, impacto, cizallamiento</p>	 <p>Origen: elementos móviles (tres ejemplos) Posibles consecuencias: arrastre, fricción, abrasión, impacto</p>
 <p>Origen: proximidad, estabilidad Posibles consecuencias: aplastamiento, atrapamiento</p>	 <p>Origen: aproximación de un elemento móvil a una parte fija Posibles consecuencias: aplastamiento, impacto</p>
 <p>Origen: elementos rotativos o móviles (tres ejemplos)</p>	 <p>Origen: elementos móviles Posibles consecuencias:</p>

Fig. 9.5. Fragment de la taula B.2 de l'Annex B.

Fases del ciclo de vida de la máquina	Ejemplos de tareas
Transporte	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elevación</li> <li>- Carga</li> <li>- Embalaje</li> <li>- Transporte</li> <li>- Descarga</li> <li>- Desembalaje</li> </ul>
Montaje e instalación	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ajustes de la máquina y de sus componentes</li> </ul>
Puesta en servicio	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Montaje de la máquina</li> <li>- Conexión a los sistemas de evacuación (por ejemplo, sistema de escape, instalación de aguas residuales)</li> <li>- Conexión a la fuente de energía (por ejemplo, alimentación de energía eléctrica, aire comprimido)</li> <li>- Demostración</li> <li>- Alimentación, llenado, carga de fluidos auxiliares (por ejemplo, lubricantes, grasa, pegamento)</li> <li>- Validado</li> <li>- Fijación, anclaje</li> <li>- Preparativos para la instalación (por ejemplo, cimentaciones, amortiguadores de vibraciones)</li> <li>- Funcionamiento de la máquina en vacío</li> <li>- Ensayo</li> <li>- Pruebas en carga o con carga máxima</li> </ul>
Reglaje	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ajuste y reglaje de dispositivos de protección y de otros componentes</li> </ul>
Aprendizaje programación y/o cambio de proceso	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ajuste y reglaje o verificación de parámetros funcionales de la máquina (por ejemplo, velocidad, presión, fuerza, límites de desplazamiento)</li> </ul>

Fig. 9.6. Fragment de la taula B.3 de l'Annex B.

Origen relativo a	Suceso peligroso	Apartados de esta norma internacional
Forma y/o acabado superficial de las partes accesibles de la máquina	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contacto con superficies rugosas</li> <li>- Contacto con aristas cortantes, ángulos vivos, partes salientes</li> </ul>	6.2.2.1
Partes móviles de la máquina	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contacto con partes móviles</li> <li>- Contacto con extremos abiertos en rotación</li> </ul>	6.2.2, 6.2.14, 6.2.15 6.3.1 a 6.3.3 6.3.5.2 a 6.3.5.4 6.4.3 a 6.4.5
Energía cinética y/o energía potencial (gravidad) de la máquina, de partes de la máquina, de herramientas y de materiales utilizados, procesados, manipulados	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Caída o proyección de objetos</li> </ul>	6.2.3, 6.2.5 6.2.10 a 6.2.12 6.3.2.1, 6.3.2.2 6.3.2.7 6.3.3 6.3.5.2, 6.3.5.4, 6.3.5.5 6.4.4, 6.4.5
Estabilidad de la máquina y/o de partes de la máquina	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pérdida de estabilidad</li> </ul>	6.2.3 a) y b) 6.2.6 6.3.2.6, 6.3.2.7 6.4.3 a 6.4.5
Resistencia mecánica de partes de la máquina, de las herramientas, etc.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rotura durante el funcionamiento</li> </ul>	6.2.3 a) y b) 6.2.11, 6.2.13 6.3.2, 6.3.2.7 6.3.3.1 a 6.3.3.3 6.3.5.2, 6.4.4, 6.4.5
Equipo neumático, equipo hidráulico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Desplazamiento de elementos móviles</li> <li>- Proyección de fluidos a alta presión</li> </ul>	6.2.3 a) y b) 6.2.10, 6.2.13, 6.3.2.7 6.3.3.1 a 6.3.3.3

Fig. 9.7. Fragment de la taula B.4 de l'Annex B.

## 9.2.5. Estimació del risc

El tercer pas del procés consisteix en realitzar una estimació del risc associat a cadascun dels perills. Per fer-ho, cal definir els elements de risc associats a cada situació perillosa concreta, que són:

$$\text{Risc}_{\text{situació perillosa}} = f(\text{gravetat del dany, probabilitat d'ocurrència}) \quad (\text{Eq. 9.1})$$

a) La gravetat del dany causat pel perill. Es pot determinar tenint en compte:

- i. la gravetat de les lesions o el dany per la salut (lleugeres, series, mort)
- ii. la extensió del dany (una persona, varies persones)

b) La probabilitat de que es produeixi aquest dany. Depèn de:

- i. la exposició de les persones al perill
- ii. l'esdeveniment d'un succés perillós
- iii. les possibilitats tècniques i humanes per a evitar o limitar el dany

L'Informe Tècnic **ISO/TR 14121-2:2012** proporciona eines per a facilitar el càlcul final de l'Estimació del Risc. S'ha seleccionat un mètode que és efectiu davant de perills de tipus físic.

L'objectiu de la norma és representar cada risc mitjançant un índex numèric, entre 6 i 1. Un valor de 6 representa un risc molt elevat, mentre que un valor de 1 en representa un de molt

baix. Per a considerar la màquina apte, cal que tots els índexs tinguin un valor de 2 o 1. Del contrari, s'han d'implementar mesures correctives o preventives al disseny. Per a determinar l'índex, cal considerar els següents elements:

- Gravetat del dany (S1, S2). Pot adquirir dos valors:
  - *S1. Lesions lleus*. Reversible, que no suposen la mort o pèrdua d'un òrgan. Es considera lleu quan la persona no necessita més de dos dies per a tornar al seu lloc de treball.
  - *S2. Lesió greu*. Dany irreversible, que suposa la mort o pèrdua d'un òrgan/extremitat. Es considera greu quan la persona necessita més de dos dies per tornar al seu lloc de treball.
- Freqüència i/o duració de la exposició al perill (F1, F2). Pot adquirir dos valors:
  - *F1. Rarament*
  - *F2. Freqüentment*
- Probabilitat de que es produeixi el succés perillós (O1, O2, O3). Pot adquirir dos valors:
  - *O1. Baix*
  - *O2. Mitjà*
  - *O3. Alt*
- Possibilitat d'evitar o reduir el dany (A1, A2). Pot adquirir dos valors:
  - *A1. Possible*
  - *A2. Impossible*

Els índexs s'obtenen combinant els elements anteriors, a partir de la taula de la Fig 9.8.

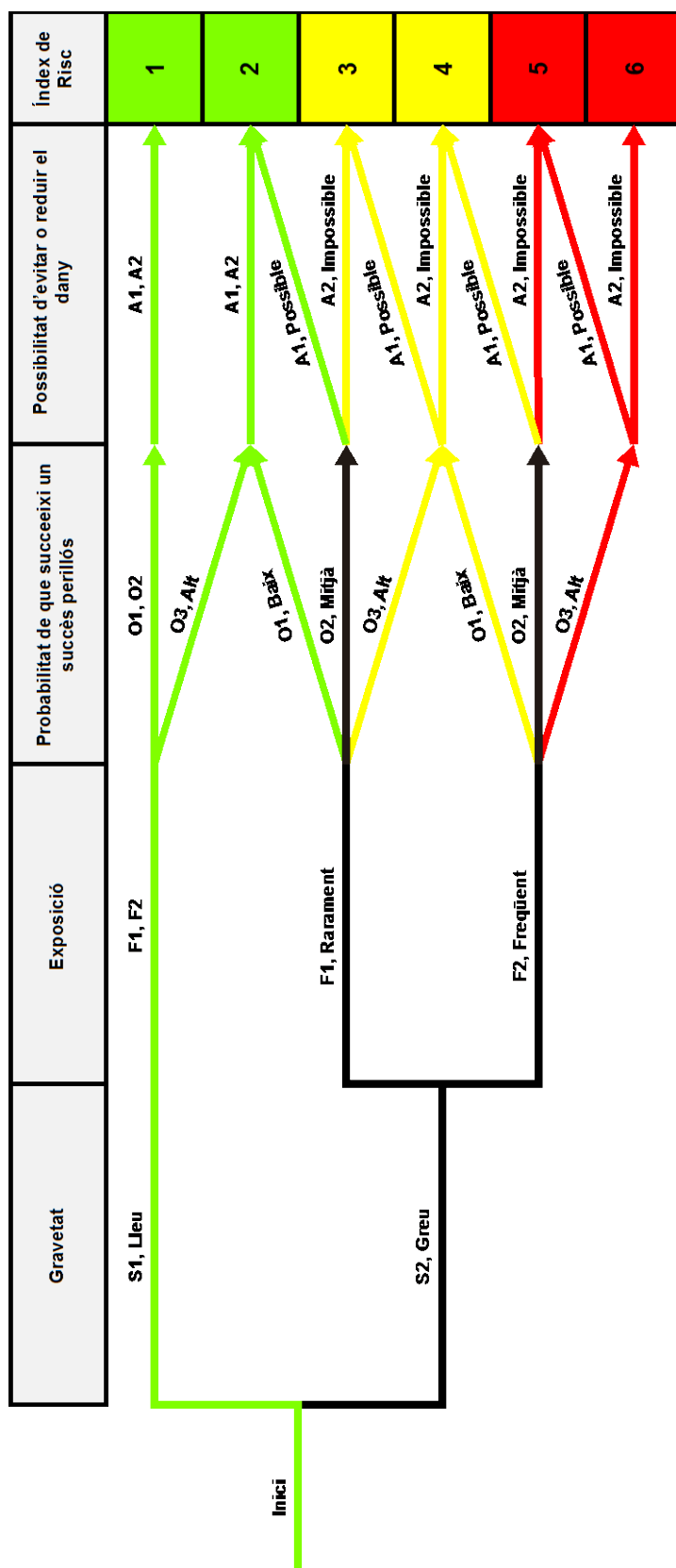


Fig. 9.8. Taula per a l'estimació del risc segons ISO/TR 14121-2:2012.



### 9.2.6. Valoració del risc

Un cop es disposa de l'Estimació del Risc, cal realitzar una Valoració dels Riscos, amb el fi de determinar si aquests són assumibles, i la màquina per tant és viable des del punt de vista de la seguretat. En cas contrari, caldrà Reduir el Risc. La Valoració del Risc és una decisió subjectiva, fonamentada en la informació de la Estimació del Risc.

### 9.2.7. Reducció del risc

Per últim, si la valoració de la màquina així ho indica, caldrà reduir els riscos presents a l'aparell. L'objectiu de reduir el risc és eliminar els perills, o reduir els elements que determinen el risc associat (la gravetat del dany degut al perill considerat, i la probabilitat de que es produeixi el dany).

Per a aconseguir una bona reducció del risc, es recomana realitzar un estudi dels perills i riscos derivats en la fase de disseny, per tal d'aconseguir un disseny inherentment segur. En cas de no ser així, caldrà prendre mesures preventives.

Totes les mesures previstes per a assolir aquest objectiu s'han d'aplicar d'acord amb la seqüència següent, denominada Mètode dels tres passos:

- **Pas 1. Mesures de disseny inherentment segur.** Consisteix a tenir presents tots el RESS quan es dissenya la màquina, intentant eliminar perills i/o reduir els riscos des del propi disseny.
- **Pas 2. Mesures de protecció i/o mesures preventives.** Es poden usar mesures de protecció i mesures preventives complementàries per a reduir el risc quan no és possible eliminar un perill, o reduir riscos, usant mesures de disseny inherentment segur.
- **Pas 3. Informació per a la utilització.** Quan els riscos es mantenen a pesar de les mesures de disseny inherentment segur, les mesures de protecció i les mesures preventives complementàries adoptades, els riscos residuals s'han d'identificar en la informació per la utilització (Veure apartat 15. *Informació a l'usuari*).

S'ha de valorar si introduir mesures preventives genera perills addicionals, o s'augmenten altres riscos.

### 9.3. Anàlisi del risc: límits i perills mecànics

A continuació es realitza una part de l'Anàlisi del risc de la BCN3D+: la Determinació dels límits de la màquina i la Identificació de perills de tipus mecànic. El procés complet d'Avaluació del Risc i la Reducció del risc es realitza a l'apartat 13. *Avaluació del Risc* del present treball.

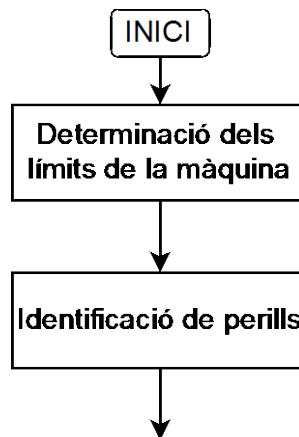


Fig. 9.9. Aspectes de l'Anàlisi de Riscos que es desenvolupen en aquest apartat.

Les fases del cicle de vida del producte són:

Fases	Possibles tasques
○ Transport	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Embalatge</li> <li>• Càrrega</li> <li>• Elevació</li> <li>• Transport</li> <li>• Descàrrega</li> <li>• Desembalatge</li> </ul>
○ Muntatge i instal·lació	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Assemblatge de components</li> <li>• Connexió a la font d'energia (alimentació elèctrica)</li> <li>• Càrrega de matèries primes</li> </ul>
○ Posada en servei	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calibratge de la màquina i els components</li> <li>• Funcionament en buit</li> </ul>

○ Funcionament	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impressió normal</li> <li>• Intervencions menors durant el funcionament (retirada de despulles, neteja local, eliminació de d'embussos, ajustos dels paràmetres d'impressió)</li> <li>• Supervisió</li> </ul>
○ Manteniment	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ajustos de components</li> <li>• Substitució de components</li> <li>• Calibratge de la màquina i els components</li> <li>• Neteja/desinfecció</li> <li>• Lubricació</li> <li>• Separació de la font d'energia</li> </ul>
○ Desmuntatge i retirada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desconnexió de l'energia</li> <li>• Desmuntatge</li> </ul>

Fig. 9.10. Fases del cicle de vida de la BCN3D+ i tasques associades.

## A) DETERMINACIÓ DELS LÍMITS DE LA MÀQUINA

### • Límits d'utilització

#### a) Modes de funcionament:

- i. Impressió estàndard. L'usuari inicia i controla l'impressió a través de la pantalla de control.
- ii. Calibrat. L'usuari pot calibrar els motors de manera individual, a través de la pantalla de control.
- iii. Interrupció de l'impressió. L'usuari pot interrompre la impressió, a través de la pantalla de control.

- b) Usos previstos de la màquina: no industrial i domèstic. El seu ús està recomanat per a un públic adult, o menors d'edat amb supervisió d'adults. No es requereixen condicions físiques específiques.

- i. Ús no industrial: Es preveu un ús no intensiu, enfocat a la fabricació de prototips. Possibles usos: validació de dissenys; visualització de models.
  - ii. Ús domèstic: Es preveu un ús no intensiu, enfocat a un ús recreatiu i de lleure. Per exemple: fabricació d'objectes i prototips personals; projectes educatius.
- c) L'usuari previst és el públic general. No es requereixen coneixements especials per al seu ús i manteniment. Degut a les característiques de l'aparell, es recomana experiència d'ús de màquines eina i nocions de seguretat al lloc de treball. Coneixements generals d'electrònica atorguen autonomia per a ajustar i avaluar problemes de l'aparell.
- d) Es preveu l'ús no industrial i domèstic. Això fa possible que persones diferents de l'operari habitual, sense coneixements dels perills específics o dels procediments de seguretat pertinents, es puguin exposar als perills de l'aparell.

- **Límits en l'espai.**

- a) Durant una operació d'impressió, els moviments es limiten a col·locar la bobina de fil de plàstic, i a dirigir l'operació d'impressió des de la pantalla de control. Durant una operació de calibrat i/o ajust de l'aparell, l'usuari ha d'interactuar per contacte directe amb la resta d'elements de la màquina. En aquests casos, la interacció només es pot realitzar amb la màquina parada (l'alimentació elèctrica pot seguir connectada), o en buit. No es pot manipular la màquina durant una impressió o immediatament després d'una impressió, ja que els elements calents segueixen tenint temperatura i suposen un perill per a la salut.
- b) No hi ha cap exigència dimensional específica per a usar la màquina.
- c) La interfície d'interacció humana és la pantalla de control. La màquina s'ha d'usar amb la pantalla de cara a l'operari. L'altre punt habitual d'interacció amb la màquina és l'extrusor, per tal d'alimentar-lo amb el fil de plàstic.
- d) La interfície màquina-font d'alimentació consisteix en un cable d'alimentació que connecta la xarxa elèctrica amb la font d'alimentació de la BCN3D+.

- **Límits en el temps**

- a) Els components de la BCN3D+ tenen diferents temps de vida:

- i. Sistema elèctric. El cablejat té el temps de vida propi del material elèctric estàndard. Cal vigilar que el cablejat no es malmeti per acció de la temperatura i les parts mòbils de la màquina.
  - ii. Placa RAMPS 1.4. És molt susceptible a espatllar-se. Si la màquina no realitza les funcions estàndard, cal comprovar la integritat dels seus elements, tals com els fusibles, els controladors dels motors, o qualsevol altre element. Per a evitar la destrucció prematura de la placa, és molt important realitzar correctament les connexions elèctriques.
  - iii. MCU Arduino Mega 2560. La placa RAMPS 1.4 el protegeix contra les agressions elèctriques, de manera que el seu funcionament es pot prolongar indefinidament. No obstant, en cas que la màquina no realitzi les funcions estàndard, cal comprovar la seva integritat i l'estat de les connexions.
  - iv. Elements de plàstic de la màquina. Els elements estructurals de plàstic estan fabricats a partir d'impressió 3D, i es degraden amb facilitat. Es preveu el recanvi d'algunes d'aquestes peces cada 2 mesos. Les peces de recanvi es poden imprimir de nou amb la pròpia impressora.
- b) Es recomana una revisió i/o calibratge global de l'aparell després d'un cert nombre d'operacions d'impressió (aproximadament 10 impressions).  
Es recomana revisar el bloc extrusor i el llit calent després de cada impressió, deixant-los en bones condicions per a la propera operació. Si es colpeja l'aparell o es mou algun component de manera brusca, es recomana realitzar un revisió i/o calibrat immediats de l'aparell.
- **Altres límits:**
- a) El material consumible és plàstic termoplàstic. Durant la impressió normal, el material s'ha d'escalfar a temperatures lleugerament per sobre del punt de transició vítria. Una temperatura massa elevada suposa un perill d'incendi i de gran emissió de substàncies tòxiques.
  - b) Es requereix un manteniment constant de l'espai d'impressió, en particular, el llit calent i l'extrusor.
  - c) La BCN3D+ es pot operar en qualsevol ambient. Es recomana un espai de treball amb bona ventilació.

## B) IDENTIFICACIÓ DE PERILLS

Per a determinar els perills, es recorre a l'ajut de la norma **UNE-EN ISO 12100:2012 Anexo B Tabla B.1 i Tabla B.2**. La identificació es realitza per a cada fase del cicle de vida de la màquina, i es contemplen els perills resultat de l'ús estipulat de l'aparell, i de l'ús no estipulat però fàcilment previsible.

- 1) Fase: Transport. No es detecten perills durant el transport.
- 2) Fase: Muntatge i instal·lació
  - Parts tallants. Talls i rascades de les mans amb les bores de les barres estructurals. (Fig. 9.11).
- 3) Fase: Posada en servei. Cap perill específic respecte els perills de la fase de funcionament.
- 4) Fase: Funcionament
  - Parts mòbils. Aixafament dels dits entre els engranatges de l'extrusor (Fig. 9.12).
  - Parts mòbils. Atrapament dels dits entre el carro de l'extrusor i els perfils estructurals (Fig. 9.13).
  - Parts mòbils. Atrapament dels dits entre el llit calent i els perfils estructurals (Fig.9.14).
  - Parts mòbils. Atrapament dels dits entre el llit calent i la bancada (Fig.9.15).
  - Parts mòbils. Esgotament i/o estrès causat pel soroll dels elements mòbils.
  - Combinació de perills. Enganxament de la roba a algun element mòbil, bloqueig del moviment i cremada de les extremitats superiors amb els elements calents.
- 5) Fase: Manteniment. Cap perill específic respecte els perills de la fase de funcionament.
- 6) Fase: Desmuntatge i retirada. Cap perill específic respecte els perills de la fase de funcionament.

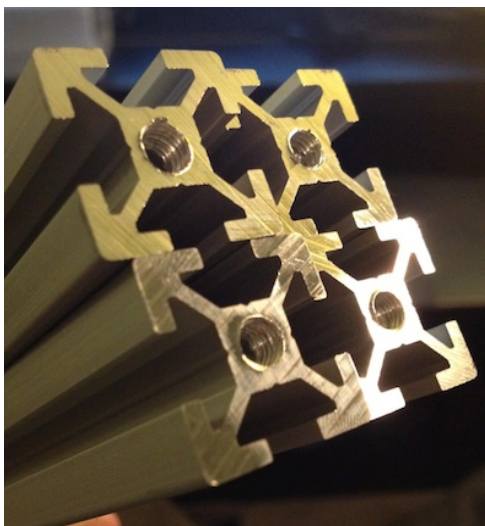


Fig. 9.11. Vista del perill.

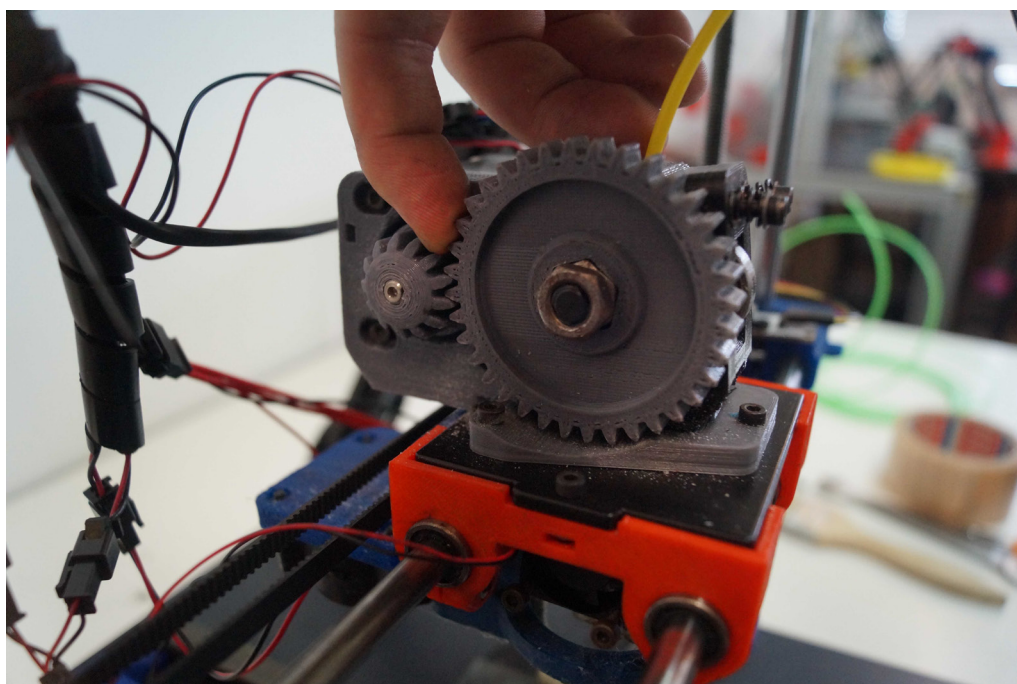


Fig. 9.12. Vista del perill.



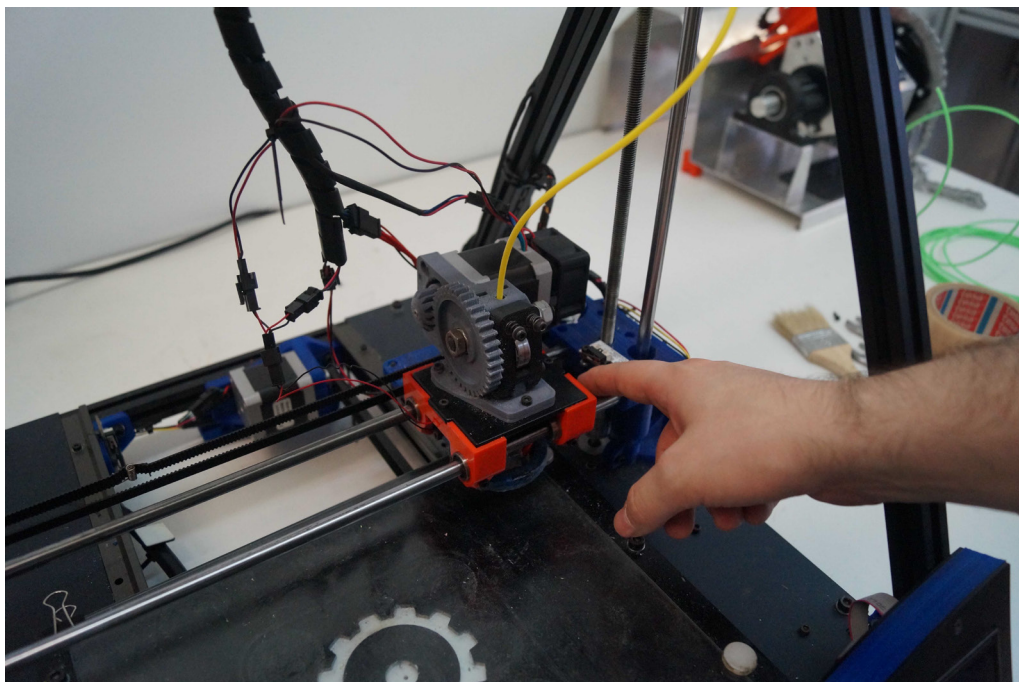


Fig. 9.13. Vista del perill.

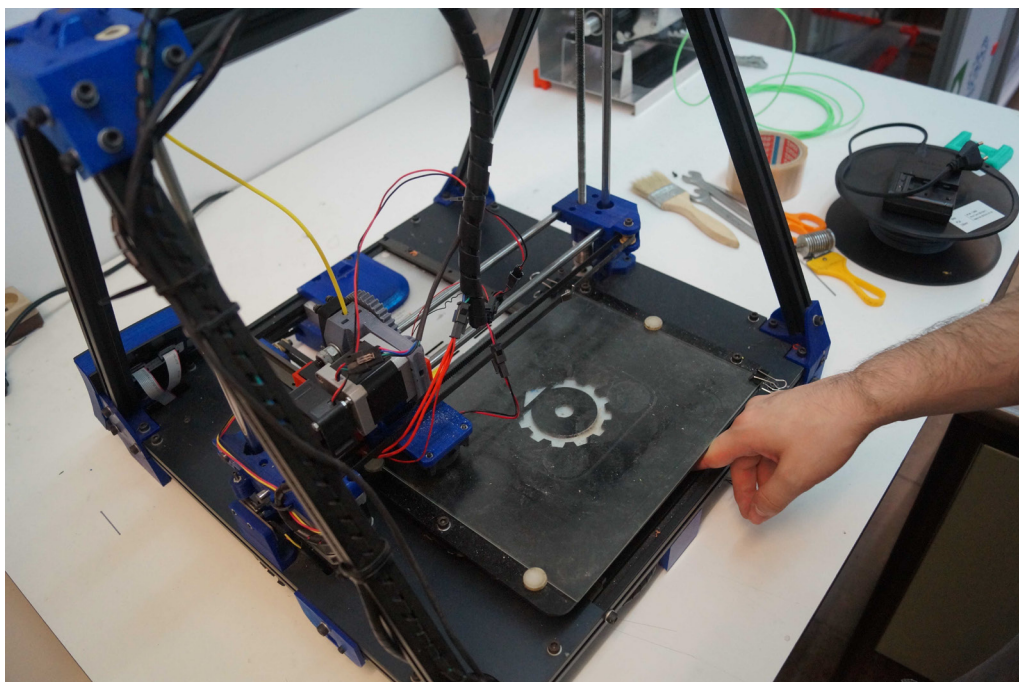


Fig. 9.14. Vista del perill.



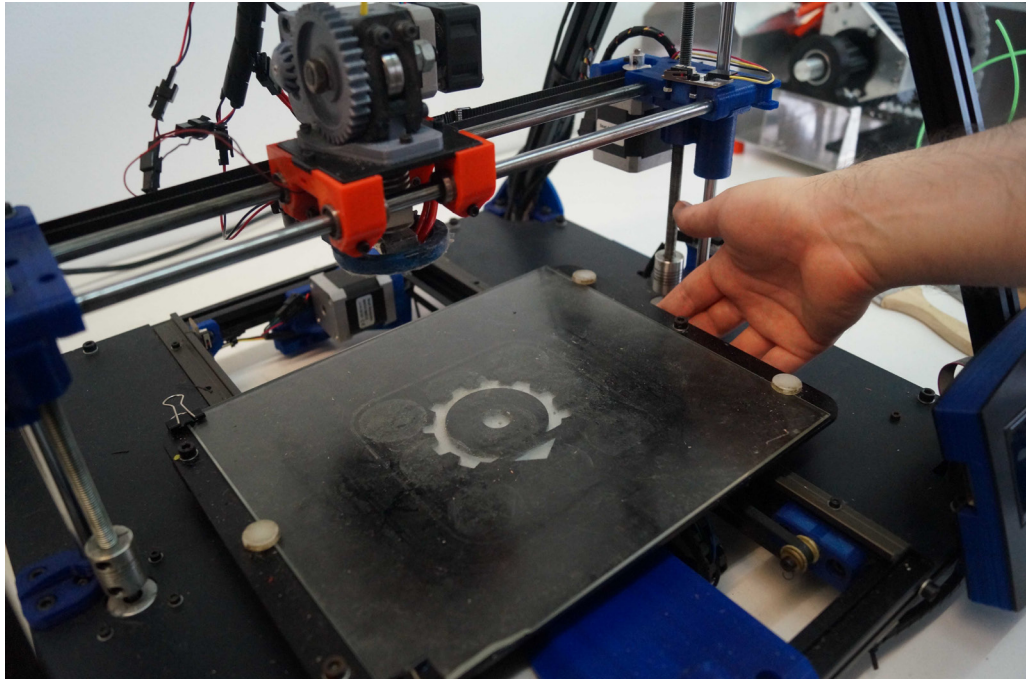


Fig. 9.15. Vista del perill.

### 9.3.1. Solucions als perills mecànics

A continuació es descriuen solucions als perills de tipus mecànic.

- Parts mòbils: Aixafament dels dits entre els engranatges de l'extrusor.
  - Protegir els engranatges amb una tapa.
- Parts mòbils: Atrapament dels dits entre el carro de l'extrusor i els perfils estructurals.
  - Cobrir els laterals del carro extrusor amb tires d'escuma protectora.
  - Posar un vareta per fer contacte amb el final de carrera de l'eix X, deixant espai per a passar-hi un dit.
- Parts mòbils: Atrapament dels dits entre el llit calent i els perfils estructurals.
  - Cobrir d'escuma/goma els laterals del llit i l'estructura per a suavitzar l'impacte.
  - Posar una vareta per fer contacte amb els finals de carrera de l'eix Y, deixant espai per a passar-hi un dit.

- Dissenyar una bancada d'una sola peça, que separi la part inferior de la màquina de la superior, i muntar l'eix Y de moviment sobre la bancada.
- Parts mòbils: Atrapament dels dits entre el llit calent i la bancada.
  - Posar una falda d'escuma al contorn del llit per la part inferior, que llisqui sobre la bancada i no permeti passar-hi un dit.
  - Alinear el llit a la mateixa alçada que la bancada.
  - Augmentar la separació entre el llit i la bancada.
- Parts tallants: Talls i rascades de les mans amb les bores de les barres estructurals.
  - Polir les bores dels perfils estructurals abans de distribuir-los.
- Parts mòbils: Esgotament i/o estrès causat pel soroll dels elements mòbils.
  - Usar cascos d'insonorització – Les mesures del nivell de soroll acústic s'han de realitzar en laboratoris especialitzats. No obstant, la Directa permet donar un valor orientatiu en base a aparells similars. Es preveu un nivell de pressió acústica no perillós de 50dB(A).

## 10. Directiva de Baixa Tensió

### Títol complet:

DIRECTIVA 2006/95/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 12 de diciembre de 2006 relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre el material eléctrico destinado a utilizarse con determinados límites de tensión (versión codificada)

### Publicació:

DOUE Serie L, n°374

### Transposició y/o Desenvolupament:

El text de la Directiva 2006/95/EC es idèntic al de la Directiva 73/23/EC i les posteriors modificacions publicades, per aquest motiu es denomina 'codificada'. Conseqüentment, no canvia la legislació nacional i no es necessària la seva transposició a l'ordenament jurídic de cada estat membre de la Unió Europea.

La Directiva 73/23/EEC es va transposar a l'ordenament jurídic espanyol a través del Real Decreto 7/1988 de 8 de enero i la seva modificació a través del Real Decreto 154/1995 de 3 de febrero.

## 10.1. Anàlisi de la Directiva

### 10.1.1. Àmbit d'aplicació

L'objectiu d'aquesta norma és garantir la seguretat elèctrica. L'àmbit d'aplicació i l'objecte de la Directiva es recullen a l'**Artículo 1** i **Artículo 2**:

#### Artículo 1

A efectos de la presente Directiva, se entenderá por «material eléctrico» cualquier clase de material eléctrico destinado a utilizarse con una tensión nominal comprendida entre 50 y 1000 V en corriente alterna y entre 75 y 1 500 V en corriente continua, con la excepción de los materiales y fenómenos mencionados en el Anexo II.

## Artículo 2

1. Los Estados miembros adoptarán todas las medidas oportunas para que sólo se pueda comercializar el material eléctrico que, habiendo sido fabricado con arreglo a los criterios técnicos vigentes en materia de seguridad en la Comunidad, no ponga en peligro, cuando su instalación y mantenimiento sean los correctos y su utilización responda a la finalidad a que esté destinado, la seguridad de las personas y de los animales domésticos, así como de los bienes.

2. En el Anexo I figuran los principales elementos de los objetivos de seguridad contemplados en el apartado 1.

Els límits de tensió estipulats es refereixen a l'alimentació de l'aparell, no als voltatges que poden aparèixer a l'interior del mateix. La BCN3D+ s'alimenta a 230V de corrent altern, de manera que queda sota l'àmbit d'aplicació de la Directiva.

### 10.1.2. Requeriments Essencials de Seguretat i Salut (RESS).

Els Requeriments essencials de Seguretat i Salut de la directiva es troben al seu **Anexo I**:

1. Condiciones generales. (...)
2. Protección contra los peligros derivados del propio material eléctrico.

Se preverán medidas de índole técnica conforme al punto 1, a fin de que:

- a) las personas y los animales domésticos queden adecuadamente protegidos contra el riesgo de heridas u otros daños que puedan sufrir a causa de contactos directos o indirectos;
- b) no se produzcan temperaturas, arcos o radiaciones peligrosas;
- c) se proteja convenientemente a las personas, los animales domésticos y los objetos contra los peligros de naturaleza no eléctrica causados por el material eléctrico y que por experiencia se conozcan;
- d) el sistema de aislamiento sea el adecuado para las condiciones de utilización previstas.

3. Protección contra los peligros causados por efecto de influencias exteriores sobre el material eléctrico. (...)

És important remarcar que en cas de conflicte, les normes de seguretat elèctrica prevalen sobre les normes de Compatibilitat Electromagnètica.

Tal com s'ha vist a la **Directiva de máquinas 2006/42/CE**, els riscos relatius a l'equip elèctric formen part dels requisits globals de l'Avaluació del Riscos de la BCN3D+. Els perills que donen lloc a aquests riscos són:

- Avaries o falles en l'equip elèctric, que donen lloc a la possibilitat de xocs elèctrics o focs d'origen elèctric
- Variacions o interrupcions a les fonts d'alimentació així com averies o falles als circuits de potència, que condueixen a un mal funcionament de la màquina.
- Temperatures superficials que poden causar ferides.
- Interferències elèctriques, per exemple electromagnètiques, o electrostàtiques tant externes a l'equip com generades pel mateix, resultant en un mal funcionament de la màquina (aquest aspecte s'analitza a l'apartat 11. *Directiva de Compatibilitat Electromagnètica CEM* del present treball).

Per a complir amb aquests requeriments, es recorre a les indicacions de les següents normes:

- **UNE-EN 60204-1:2007 Seguridad de las máquinas. Equipo eléctrico de las máquinas. Parte 1: Requisitos generales.**
- **UNE-EN ISO 13732-1 Ergonomía del ambiente térmico. Métodos para la evaluación de la respuesta humana al contacto con superficies. Parte 1: Superficies calientes.**

### 10.1.3. Definicions

La norma **UNE-EN 60204-1:2007** introdueix uns termes i definicions que són indispensables per a la comprensió dels principis de la Directiva:

- **Contacte directe:** Contacte elèctric entre persones o animals amb parts actives.
- **Envolupant:** Element que assegura la protecció de l'equip contra certes influències externes i la protecció contra contactes directes en qualsevol direcció.

c) Una envolupant pot ser:

- Un armari o caixa, muntat a la màquina o separada de la màquina;

- Un compartiment constituït per un espai tancat que forma part de l'estructura de la màquina;
- o **Connexió equipotencial.** Realització de connexions elèctriques entre parts conductores per a aconseguir l'equipotencialitat.
- o **Part conductora accessible (massa).** Part conductora d'un equip elèctric susceptible de ser tocada y que, normalment, no està en tensió, però que pot estar-ho en caso de fallada.
- o **Fallada.** Fi de l'aptitud d'un element per a realitzar una funció requerida.
- o **Connexió funcional.** Connexió equipotencial efectuada per al correcte funcionament de l'equip elèctric.
- o **Contacte indirecte:** Contacte de persona o animals domèstics amb parts conductores accessibles que s'han posat en tensió como a resultat d'una fallada d'aïllament.
- o **Part activa.** Conductor o part conductora destinada a estar en tensió en condicions normals de servei, incloent el conductor neutre.
- o **Obstacle.** Element que impedeix un contacte directe fortuït, però no preven un contacte directe si és per una acció deliberada.
- o **Circuit de potència.** Circuit que transmet l'energia des de la xarxa de subministrament a les unitats de l'equip utilitzades directament per al treball efectuat per la màquina i als transformadors que alimenten els circuits de comandament.
- o **Connexió de protecció.** Connexió equipotencial per a la protecció contra els xocs elèctrics.
- o **Conductor de protecció.** Conductor requerit a certes mesures de protecció contra el xoc elèctric i que connecta elèctricament algunes de les següents parts:
  - Parts conductores exposades (masses);
  - Partes conductores accidentals;
  - Born principal de terra (PE);

## 10.2. Esquema elèctric i consum

A continuació es mostra una representació esquemàtica dels components amb consum elèctric de la BCN3D+.

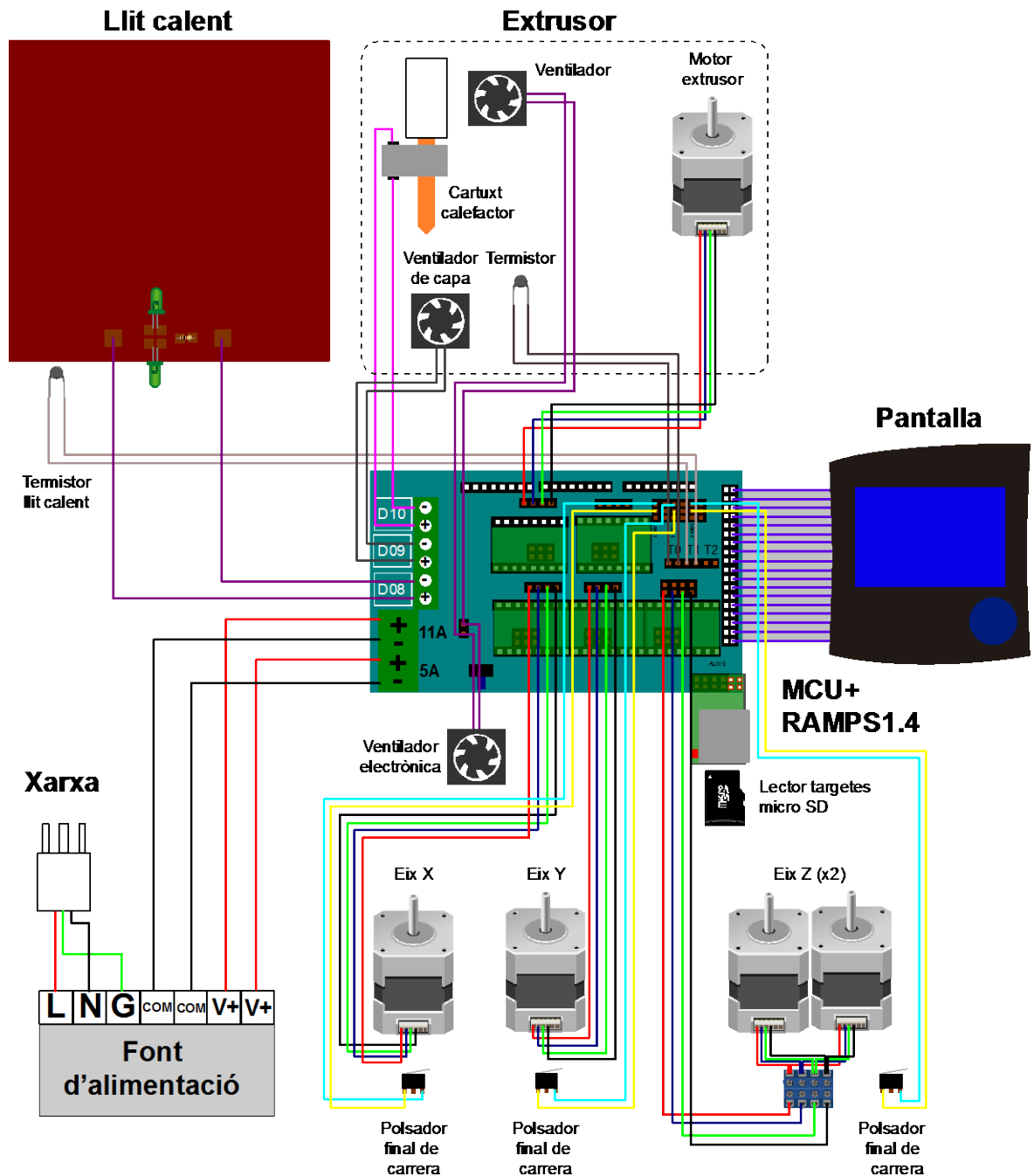


Fig. 10.1. Esquema elèctric/electrònic de la BCN3D+[10].

A partir de les dades dels fabricants, i de mesures realitzades sobre la màquina, s'obté el següent quadre de consums:

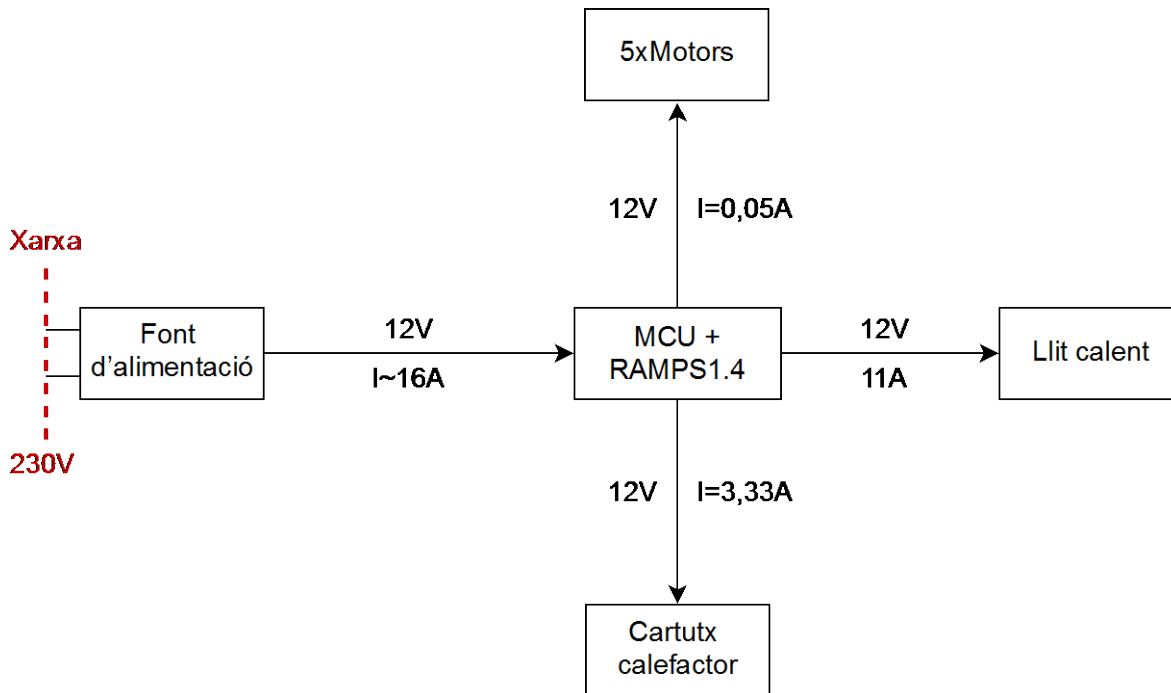


Fig. 10.2. Consum elèctric dels components principals de la BCN3D+.

El corrent total que la font aporta al sistema és d'aproximadament 16A. És el resultat de la suma dels corrents absorbits per cadascun dels següents elements:

○ MCU+RAMPS 1.4+Sensors+Ventiladors	~0,05A
○ 5 motors	0,2A
○ Llit calent	11A
○ Cartutx de l'extrusor	3,33A
<b>ΣTotal</b>	<b>≈16A</b>

Fig. 10.3. Suma dels corrents consumits pels elements del sistema elèctric/electrònic.

Aquest valor és coherent amb les característiques de la placa RAMPS 1.4. Com s'ha esmentat a l'apartat 7.4 *Descripció de l'aparell*, aquesta placa disposa de dos fusibles de seguretat, amb valors de tall és de 11A i 5A.



### 10.3. Aspectes de seguretat elèctrica

A continuació es descriuen els aspectes més rellevants a considerar en el disseny elèctricament segur de les màquines.

#### 10.3.1. Dimensionat dels conductors

La circulació del corrent elèctric per un conductor genera calor com a conseqüència de l'efecte Joule. Si la secció de pas no és suficientment gran, la calor dissipada esdevé excessiva i els conductors es degraden, donant lloc a situacions perilloses.

Cal considerar també les condicions ambientals de treball, especialment si la temperatura ambient és superior a l'habitual.

#### 10.3.2. Contacte elèctric

Tal com s'indica a les definicions, el contacte elèctric consisteix en el contacte d'una persona amb qualsevol part amb tensió d'un sistema elèctric. El contacte pot ser de dos tipus.

- El contacte directe es produeix quan el cos humà toca una part amb tensió activa de l'aparell.
- El contacte indirecte s'origina quan el revestiment d'un conductor es degrada o es secciona. En aquests casos el nucli del conductor queda al descobert, pot tocar alguna part conductora de la màquina i assignar-li una tensió. El contacte d'aquest element amb el cos dóna lloc a un corrent a través del propi cos.

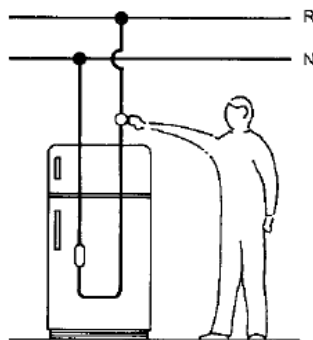


Fig. 10.4. Esquema del contacte directe.

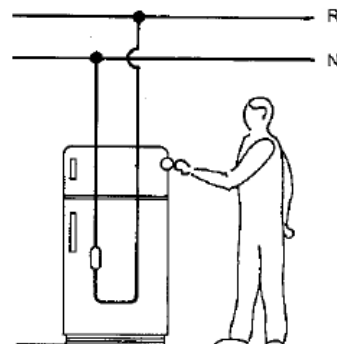


Fig. 10.5. Esquema del contacte indirecte.

El xoc elèctric és l'efecte fisiològic degut al pas del corrent pel cos humà. Pot ser de quatre tipus:

- Asfixia: Es produeix parada respiratòria si el corrent afecta el centre nerviós que regula la respiració.
- Electrització: La persona esdevé part del circuit elèctric. Com a mínim presenta un punt d'entrada i un punt de sortida del corrent.
- Electrocutió: Mort per acció del corrent elèctric.
- Fibril·lació ventricular: Moviment arrítmic del cor, que pot ocasionar la mort.
- Tetanització. Moviment incontrolat dels músculs, amb pèrdua de control generalment als braços i cames.

Aquests efectes depenen fonamentalment de la intensitat i del temps de pas del corrent elèctric. A partir d'aquests dos factors es defineixen 4 valors límit per a determinar la gravetat dels efectes del pas del corrent elèctric:

- Llindar de percepció: és el valor mínim del corrent que provoca una sensació en una persona. És considera un valor de 2mA en corrent continu, independentment del temps d'exposició.
- Llindar de reacció: és el valor mínim del corrent que provoca una contracció muscular.
- Llindar de no deixar anar. És el valor màxim del corrent que, quan una persona té subjectes uns elèctrodes, permet a aquesta persona deixar-los anar.
- Llindar de fibril·lació. És el valor mínim del corrent que pot provocar la fibril·lació ventricular. La fibril·lació ventricular està considerada com la principal causa de mort per xoc elèctric.

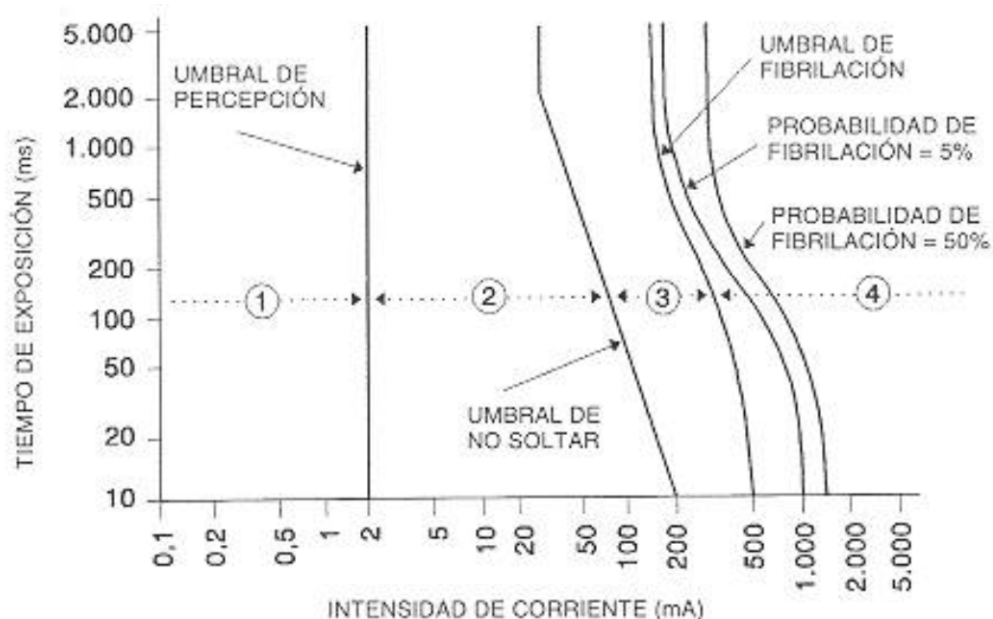


Fig. 10.6. Efectes sobre l'organisme del pas del corrent continu.

Per a determinar la intensitat del corrent elèctric, cal aplicar la Llei d'Ohm:

$$V_c = R_h \cdot I$$

$V_c$ : Tensió de contacte  
 $R_h$ : Resistència elèctrica del cos humà  
 $I$ : Intensitat del corrent de pas

Fig. 10.7. Llei d'Ohm aplicada al contacte elèctric humà.

La resistència elèctrica del cos humà és un valor que depèn de varis factors, com les parts del cos per on circula el corrent, la tensió aplicada, i el grau d'humitat de la pell. Tot i això, el s'estableix un valor mitjà de 2500 Ohms.

### 10.3.3. Parts calentes

La perillositat de les temperatures a les màquines ve donada per la norma **UNE-EN ISO 13732-1**. Aquesta proporciona gràfiques de contacte amb el cos per a diferents materials. En el cas de la BCN3D+, trobem contacte ceràmic (vidre protector del llit calent) i contacte metàl·lic (broquet extrusor).

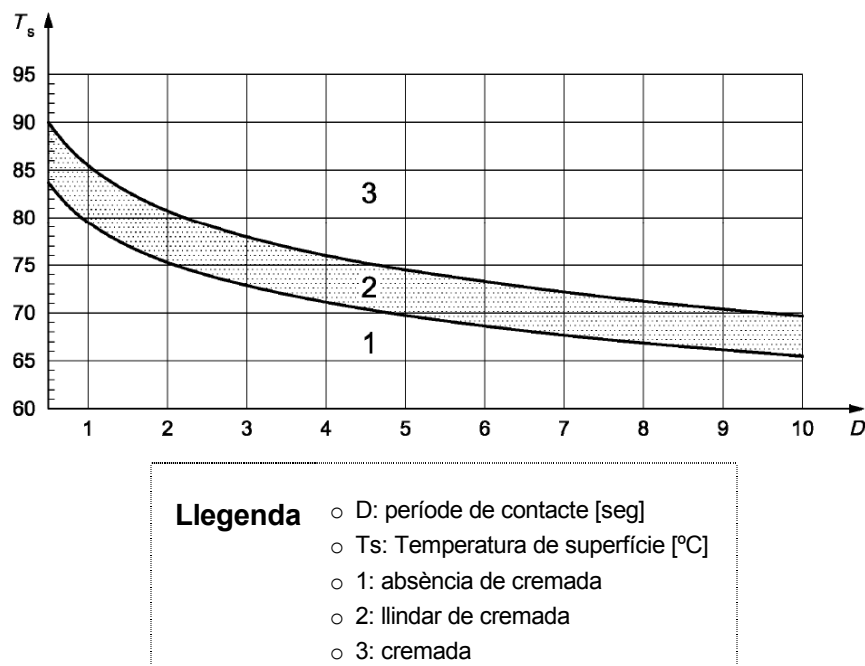


Fig. 10.8. Llindar de cremada quan la pell toca una superfície llisa de material ceràmic i vidre.

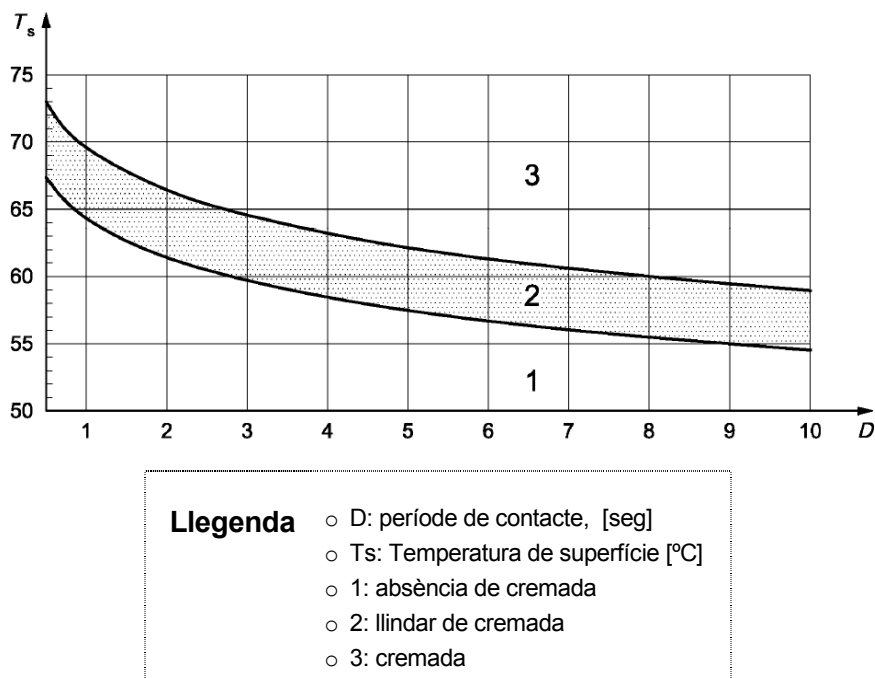


Fig. 10.9. Llindar de cremada quan la pell toca una superfície de metall nu.

## 10.4. Aplicació a la BCN3D+

### 10.4.1. Identificació de perills elèctrics i tèrmics

A continuació s'enumeren els perills de tipus elèctric i tèrmic associats a totes les fases del cicle de vida del producte de la BCN3D+.

- 1) Fase: Transport. Cap perill elèctric o tèrmic associat.
- 2) Fase: Muntatge i instal·lació
  - Borns de la xarxa elèctrica accessibles al contacte directe. Xoc elèctric amb el corrent de la d'entrada de la xarxa (Fig. 10.10 i Fig. 10.11).
- 3) Fase: Posada en servei
  - Borns de la xarxa elèctrica accessibles al contacte directe. Xoc elèctric amb el corrent d'entrada de la xarxa (Fig. 10.10 i Fig. 10.11).
- 4) Fase: Funcionament

- Borns de la xarxa elèctrica accessibles al contacte directe. Xoc elèctric amb el corrent d'entrada de la xarxa (Fig. 10.10 i Fig. 10.11).
- Manca de connexions equipotencials. Contacte indirecte a la tensió de treball del sistema (Fig. 10.12)
- Parts calentes. Contacte de les extremitats superiors amb l'extrusor (Fig. 10.13).
- Parts calentes. Contacte de les extremitats superiors amb el llit calent (Fig. 10.14).
- Parts calentes. Incendi d'algun component de la màquina o element extern.
- Combinació de perills. Xoc elèctric i cremada de les extremitats superiors amb les parts calentes.

5) Fase: Manteniment. Cap perill específic respecte la fase de funcionament.

6) Fase: Desmuntatge i retirada

- Borns de la xarxa elèctrica accessibles al contacte directe. Xoc elèctric amb el corrent d'entrada de la xarxa (Fig. 10.10 i Fig. 10.11).

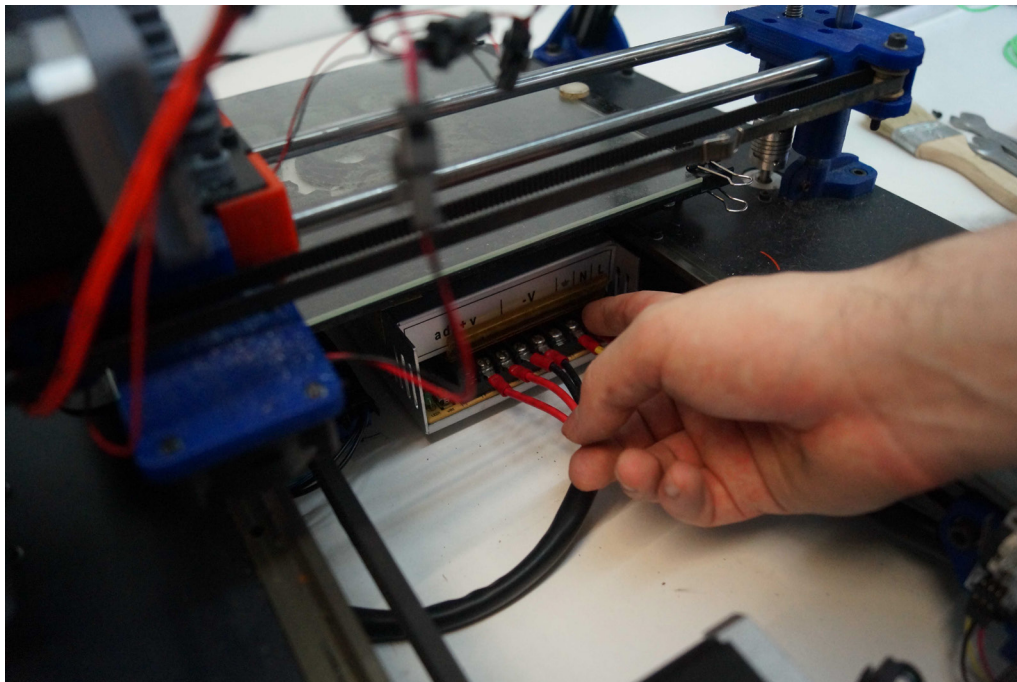


Fig. 10.10. Perill xoc elèctric contacte elèctric directe.



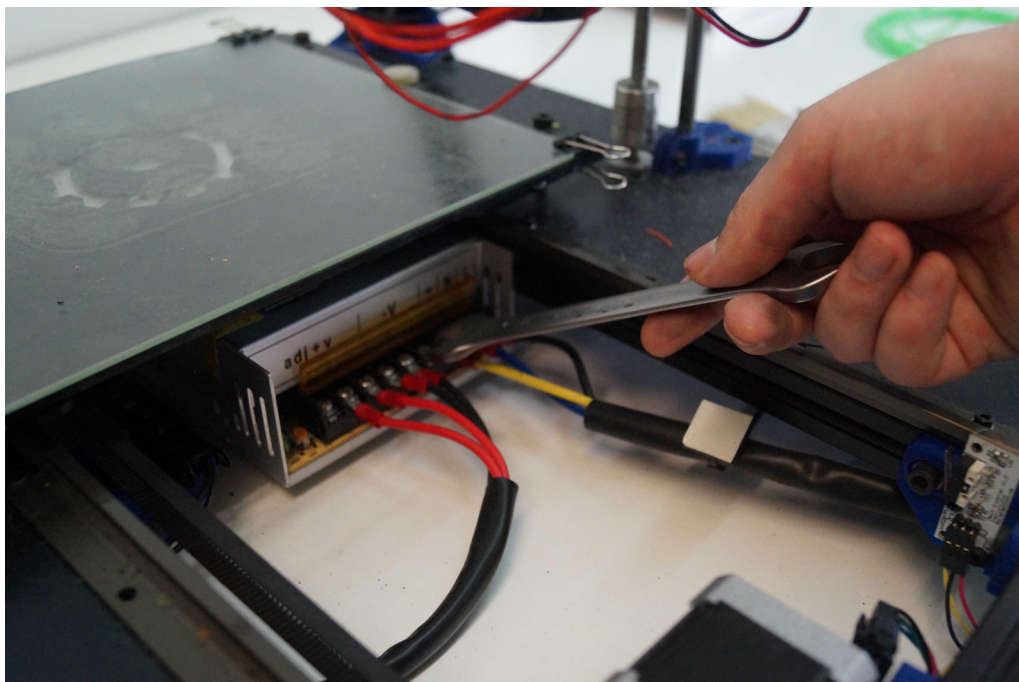


Fig. 10.11. Perill de xoc elèctric per contacte directe.

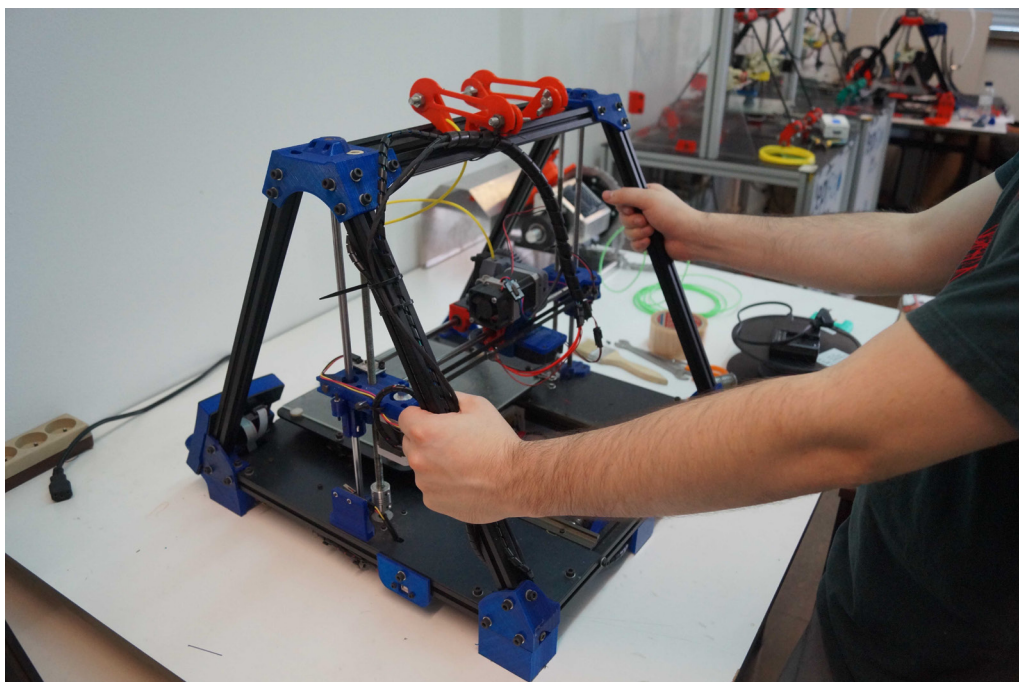


Fig. 10.12. Perill de xoc elèctric per contacte indirecte.

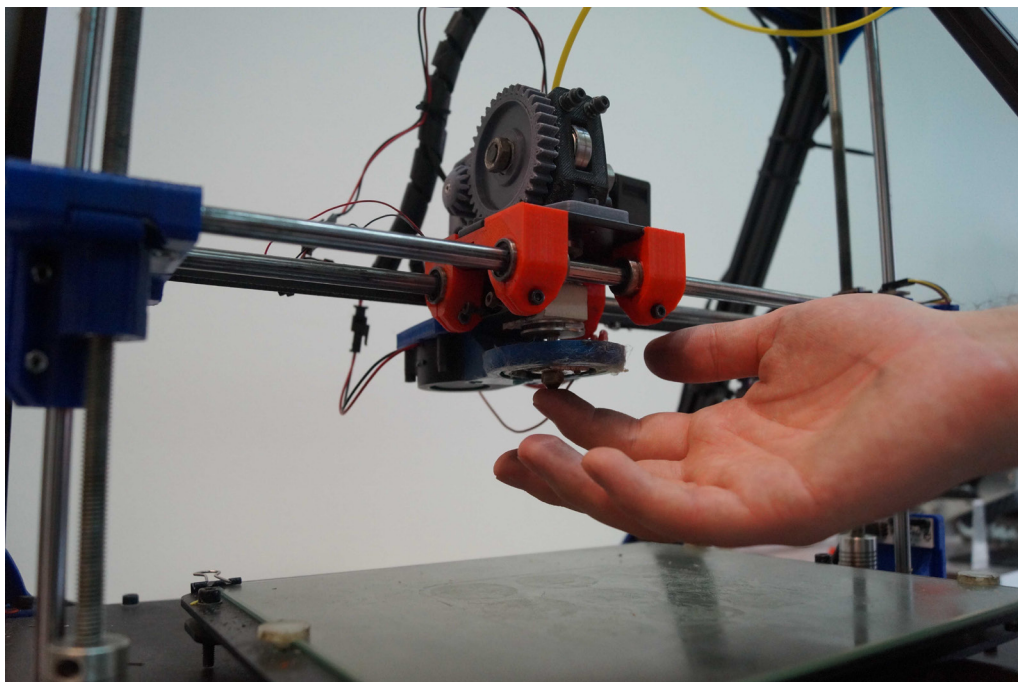


Fig. 10.13. Perill de cremada amb parts calentes.

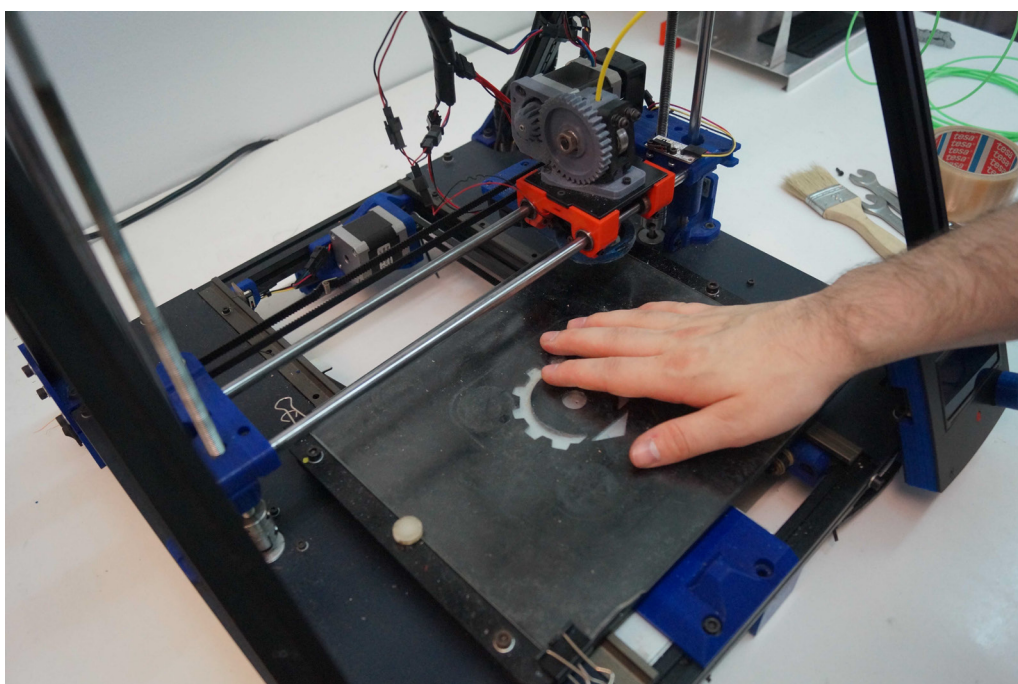


Fig. 10.14. Perill de cremada amb parts calentes.

### 10.4.2. Conductors

A partir dels valors de corrent mostrats a la Fig. 10.2, es poden determinar les seccions adients, mesurades en  $\text{mm}^2$ . La norma **UNE-EN 60204-1 Capítulo 12 Tabla 5** proporciona aquesta informació:

Component	Corrent [A]	Secció [ $\text{mm}^2$ ]
Ventilador	0,01	0,75
MCU+RAMPS	0,03	0,75
Motor	0,04	0,75
Llit calent	11	2
Cartutx calefactor extrusor	3,33	1

Fig. 10.15. Seccions corresponents al corrent consumit per cada component.

Com la BCN3D+ incorpora elements calefactors, l'espai al seu voltant tindrà una temperatura superior a la temperatura ambient usual, molt especialment, la zona al voltant del llit calent. Per aquest motiu, es recomana:

- Utilitzar un cable amb aïllament resistent a les altes temperatures. Per exemple: aïllament de Polietilè reticulat (XLPE) o d'Etilè-Propilè (EPR).
- Utilitzar fundes de silicona tèrmica externes.



Fig. 10.16. Funda de silicona tèrmica externa per a cables.

### 10.4.3. Protecció contra el contacte elèctric

La font d'alimentació està ubicada sota la bancada. La bancada però presenta una obertura central on es troba la corretja de moviment del llit calent. A través d'aquesta obertura és possible accedir, usant la mà o algun utensili, als borns de connexió dels cables de la xarxa. El contacte amb aquests borns és molt perillós, ja que la tensió és molt elevada.



Per a solucionar aquest aspecte, la norma **UNE EN 60204-1 Apartado 6.2.2** indica l'ús d'envolupants o barreres físiques. En el cas de la BCN3D+ es pot implementar una barrera fàcilment, a partir d'una peça de plàstic que impedeixi el contacte directe amb els borns.

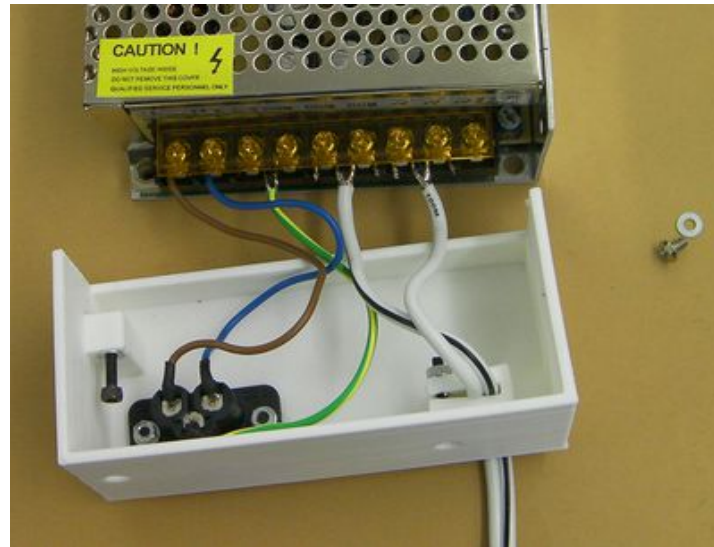


Fig. 10.17. Exemple de cobertura de plàstic per a protegir els borns de la xarxa elèctrica.

Per fer front al contacte indirecte, s'ha de presentar un camí de baixa impedància que desvii els corrents de fuga del cos humà. Això s'aconsegueix connectant les parts conductores de l'aparell al terra de la xarxa elèctrica, a través d'un conductor de protecció (PE). La normativa indica que aquest conductor ha de ser de color verd-groc, i tenir una secció adient. D'aquesta manera s'aconsegueix:

- Protegir els equips, derivant a terra els corrents de fuga que puguin aparèixer per fallada d'aïllament.
- Protegir les persones, evitant que aparegui una tensió perillosa entre les masses, o entre les masses i el terra.

La BCN3D+ no té connexions de baixa impedància entre les parts metàl·liques i el conductor de terra de protecció. Per a comprovar quin corrent que circularia pel cos humà en aquesta situació, cal aplicar la Llei d'Ohm. Com tots els components treballen a una tensió de 12V proporcionada per la font d'alimentació, s'obté:

$$I = V_c/R_h = 12/2500 = 0,0048A = 4,8mA \quad (\text{Ec. 10.1})$$

Segons la gràfica de la Fig.10.6, s'observa que aquest valor es situa una mica per sobre del 'Llindar de percepció', i molt per sota del 'Llindar de no deixar anar'. Per tant, és un valor que no suposa cap perill i no caldria realitzar les connexions.

No obstant, les bones pràctiques recomanen la implementació de connexions equipotencials entre les parts metàl·liques, connectades al seu torn al conductor de protecció. Això es realitza habitualment a través de la carcassa metàl·lica de la font d'alimentació, que posseeix internament una connexió a terra.



Fig. 10.18. Conductor amb el color reglamentari per la connexió a terra de seguretat.

#### 10.4.4. Protecció contra parts calentes

Donat que el disseny de la BCN3D+ és 'obert', els elements que adquireixen temperatura són accessibles al contacte humà. Concretament, les temperatures màximes assolides als elements perillosos són aproximadament 250°C al cartutx de l'extrusor, i 100°C al llit calent.

Com s'ha esmentat anteriorment, la perillositat de les temperatures ve donada per la norma **UNE-EN ISO 13732-1**. Cal distingir el material de cada part calenta. La peça que conté el cartutx de l'extrusor és d'alumini, mentre que el contacte amb el llit es realitza a través d'una placa de vidre.

A les figures 10.8 i 10.9 es pot comprovar com ambdues temperatures sobrepassen el llindar de cremada. La norma proporciona exemples de mesures de protecció contra cremades, dividides en tres classes:

- a) Mesures tècniques.
  - Reducció de la temperatura de les superfícies;
  - Elecció de materials i textures amb llindars de temperatura elevats;
  - Ús d'aïllaments (fusta, suro, fibra);
  - Ús d'aletes de refrigeració;
  - Instal·lació de pantalles o barreres;

## b) Mesures organitzatives.

- Col·locació de senyals d'avertència;
- Senyals d'avertència actives (alarmes visuals i acústiques);
- Manual d'instruccions;

## c) Mesures de protecció individual.

- Ús d'equips de protecció individual (roba, guants, etc.).

Donada la funció de les parts calentes, és difícil proposar solucions preventives que no canviïn la configuració actual de la màquina:

- o Pel broquet extrusor, es suggereix limitar la superfície de contacte, per mitjà d'una cobertura protectora que encapsuli l'extrusor, i només deixi a la vista l'orifici de sortida del plàstic.

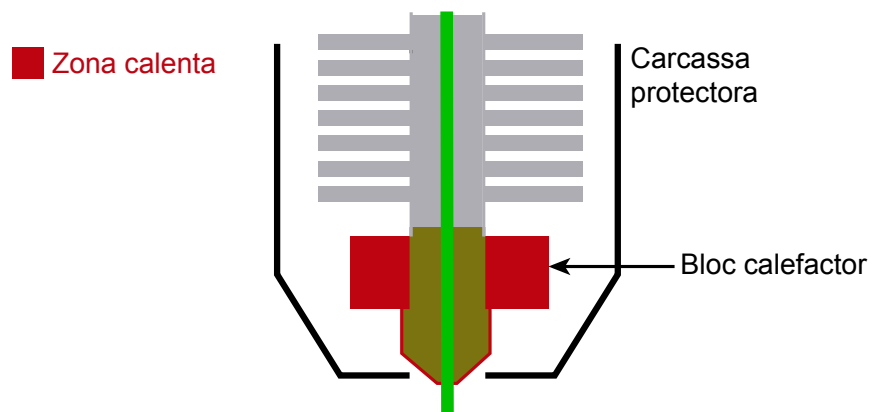


Fig. 10.19. Esquema de la secció de l'extrusor i la carcassa protectora.

- o Per al llit calent, l'única solució possible consisteix a utilitzar pantalles protectores que bloquegin l'accés, és a dir, tancar l'espai d'impressió de la màquina.

## 11. Directiva de Compatibilitat Electromagnètica

### Títol complet

Directiva 2004/108/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de diciembre de 2004, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros en materia de compatibilidad electromagnética y por la que se deroga la Directiva 89/336/CEE.

### Publicació

DOUE Serie L, nº 390/24.

### Transposició i/o Desenvolupament

Real Decreto 1580/2006, de 22 de diciembre, por el que se regula la compatibilidad electromagnética de los equipos eléctricos y electrónicos. B.O.E. Nº 15 publicado el 17/1/07.

## 11.1. Anàlisi de la Directiva

### 11.1.1. Àmbit d'aplicació i Requeriments Essencials

La Directiva defineix la Compatibilitat Electromagnètica (CEM) com:

Capacidad de que un equipo funcione de forma satisfactoria en su entorno electromagnético sin introducir perturbaciones electromagnéticas intolerables para otros equipos en ese entorno.

Qualsevol aparell que incorpora un subsistema electromagnètic interactua amb el seu entorn electromagnètic. Aquesta interacció pot resultar en una interrupció, degradació o limitació del rendiment previst pels aparells involucrats. Cal establir unes regles per a que tot aparell pugui conviure, és a dir, sigui compatible, amb el seu entorn electromagnètic.

Els Requeriments Essencials de la Directiva queden especificats a l'**Anexo I** del text:

#### 1. Requisitos de protección

El diseño y la fabricación de los equipos, habida cuenta de los avances más recientes, garantizarán:

a) que las perturbaciones electromagnéticas generadas queden limitadas a un nivel que permita a los equipos de radio y de telecomunicaciones u otros equipos funcionar con el fin para el que han sido previstos;

b) un nivel de protección frente a las perturbaciones electromagnéticas previsibles que permita al equipo funcionar sin una degradación inaceptable en su uso previsto.

Per a determinar si un producte s'inclou en l'àmbit de la Directiva cal formular les següents qüestions recollides a la Fig.11.1:

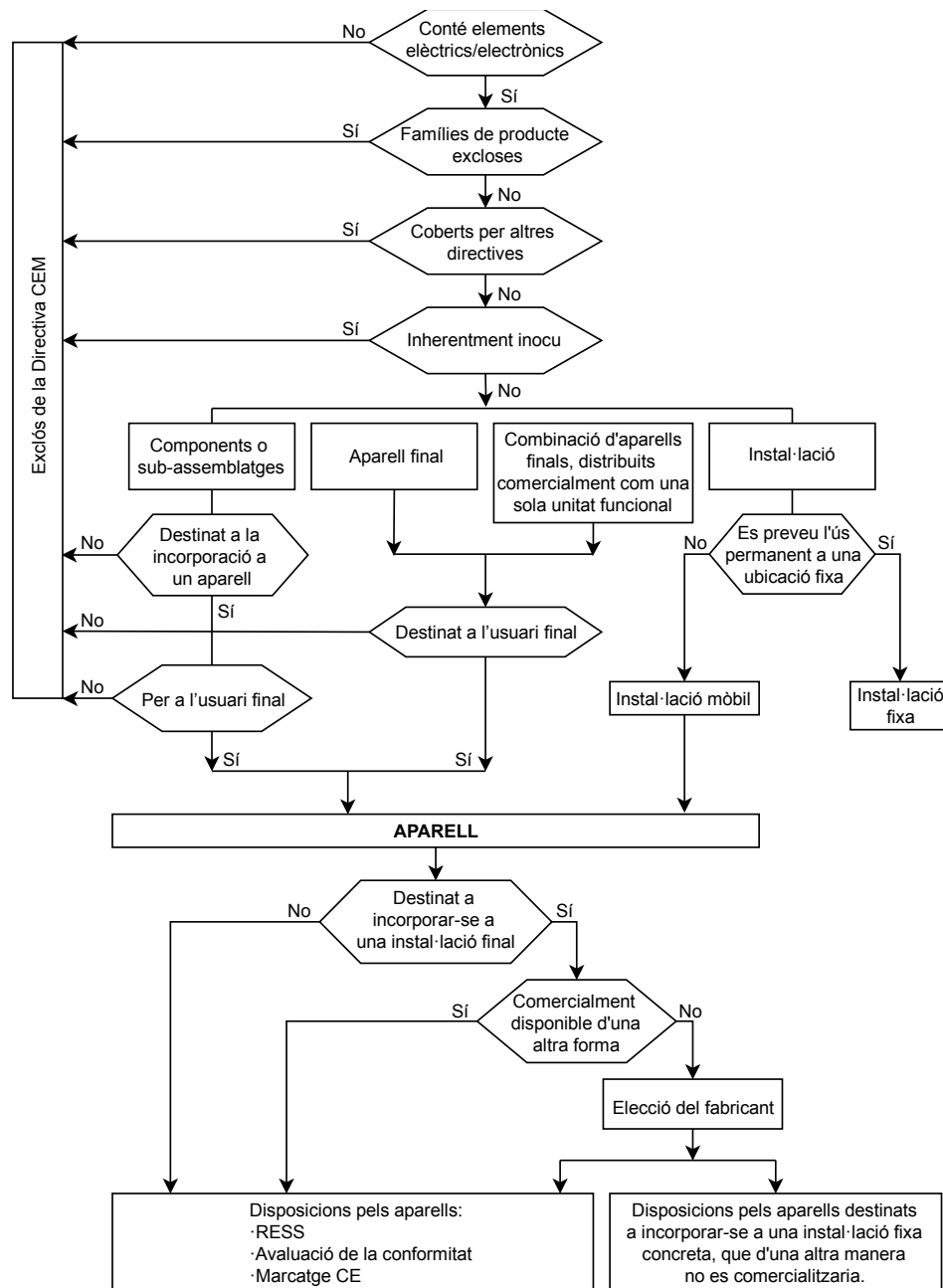


Fig. 11.1. Diagrama per a determinar si un producte s'inclou dins l'àmbit d'aplicació de la directiva CEM.

És importat remarcar que la Directiva de CEM no tracta sobre aspectes de seguretat i salut de les persones, tal i com s'especifica a l'**Artículo 1 apartado 5**:

La presente Directiva no afectará a la aplicación de las legislación comunitaria o nacional que rige la seguridad de los equipos.

Per a aquesta qüestió, s'ha de recórrer a qualsevol directiva que abordi aspectes de seguretat dels productes, com la **Directiva de Máquinas 2006/42/CE**.

### 11.1.2. Avaluació de la conformitat

La Directiva ofereix tres procediments d'Avaluació de la Conformitat dels productes, dos procediments per els anomenats “aparells” i un per a les “instal·lacions fixes”.

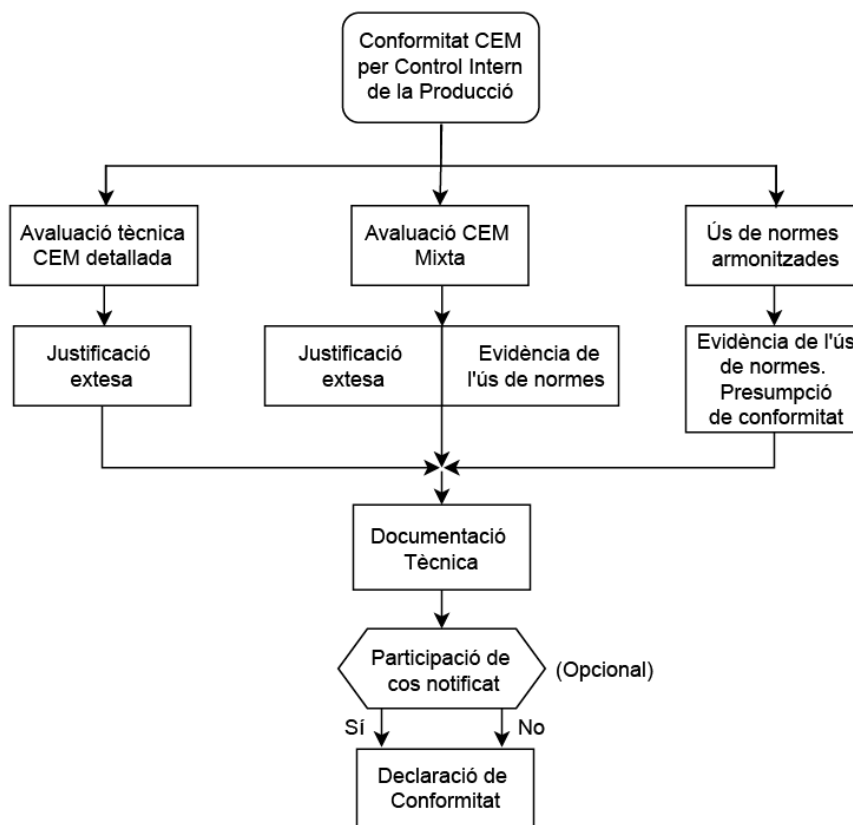


Fig. 11.2. Diagrama de l'itinerari cap a la conformitat dels productes inclosos a la Directiva de CEM.

Pel cas present, tenen aplicabilitat els procediments adreçats a aparells, que són els següents:

1. Aplicar correctament totes les normes harmonitzades rellevants, les referències de les quals hagin sigut publicades en el DOUE. La seva aplicació dóna presumpció de conformitat tècnica amb els requeriments, i no cal realitzar cap Avaluació posterior.
2. En cas que no s'apliquin normes harmonitzades, o s'apliquin parcialment, cal realitzar una Avaluació de Compatibilitat Electromagnètica de l'aparell dels fenòmens pertinents.

Un Cos Notificat pot estar implicat en el procediment d'Avaluació de la Conformitat, encara que la seva participació no és obligatòria en cap dels dos casos. Si no hi ha participació d'una tercera part, el fabricant ha de posseir un bon coneixement i experiència en l'aplicació dels requeriments essencials de la Directiva, i ha de disposar de les instal·lacions i instrumental específic per a justificar que l'aplicació de mesures és satisfactòria.

L'entitat que ha impulsat el present treball, la Fundació Privada Centre CIM, ha apostat per dedicar una partida pressupostària a la realització de proves de conformitat CEM. L'avaluació s'ha dut a terme a les instal·lacions del GCEM, un laboratori especialitzat de la Universitat Politècnica de Catalunya. A partir d'una avaluació prèvia, el GCEM ha determinat que les normes harmonitzades aplicables a l'aparell són les següents:

- Emissions segons la norma **UNE-EN 55022:2011. Equipos de tecnología de la información. Características de las perturbaciones radioeléctricas. Límites y métodos de medida.**

Aquesta norma fa referència a les normes següents:

- **UNE-EN 55011:2011 Equipos industriales, científicos y médicos. Características de las perturbaciones radioeléctricas. Límites y métodos de medición.**
- **UNE-EN 61000-3-2:2014 Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 3-2: Límites. Límites para las emisiones de corriente armónica (equipos con corriente de entrada  $\leq 16$  A por fase).**
- **UNE-EN 61000-3-3:2013 Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 3-3: Límites. Limitación de las variaciones de tensión, fluctuaciones de tensión y flicker en las redes públicas de suministro de baja tensión para equipos con corriente asignada  $\leq 16$  A por fase y no sujetos a una conexión condicional.**

- Immunitat segons la norma **UNE-EN 55024:2011. Equipos de tecnología de la información. Características de inmunidad. Límites y métodos de medida.**

Aquesta norma fa referència a les normes següents:

- **UNE-EN 61000-4-2:2010 Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 4-2: Técnicas de ensayo y de medida. Ensayo de inmunidad a las descargas electrostáticas.**
- **UNE-EN 61000-4-3:2007 Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 4-3: Técnicas de ensayo y de medida. Ensayos de inmunidad a los campos electromagnéticos, radiados y de radiofrecuencia.**
- **UNE-EN 61000-4-4 :2015 Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 4-4: Técnicas de ensayo y de medida. Ensayos de inmunidad a los transitorios eléctricos rápidos en ráfagas.**
- **UNE-EN 61000-4-5:2007 Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 4-5: Técnicas de ensayo y de medida. Ensayos de inmunidad a las ondas de choque.**
- **UNE-EN 61000-4-6:2014 Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 4-6: Técnicas de ensayo y de medida. Inmunidad a las perturbaciones conducidas, inducidas por los campos de radiofrecuencia.**
- **UNE-EN 61000-4-11:2005 Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 4-11: Técnicas de ensayo y de medida. Ensayos de inmunidad a los huecos de tensión, interrupciones breves y variaciones de tensión.**

### 11.1.3. Principis de la CEM

L'element central en l'àmbit de la CEM el constitueixen les Interferències Electromagnètiques (EMI). Aquestes es defineixen com a transferències no desitjades d'energia electromagnètica entre equips. Poden ser soroll electromagnètic, una senyal no desitjada, o una modificació del propi medi de propagació.

Qualsevol emissió electromagnètica, natural o artificial, és potencialment una pertorbació cap a qualsevol altre equip al seu entorn. Els seus efectes poden ser errors de transmissió de dades, reinicis aleatoris dels microcontroladors, mala recepció de radio i TV, etc.



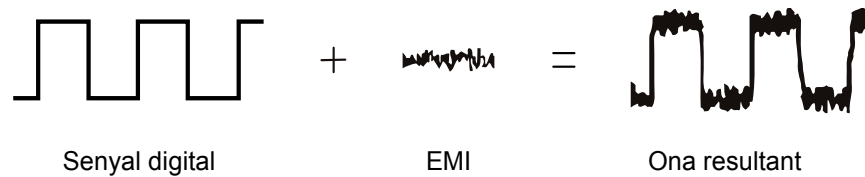


Fig. 11.3. Esquema de l'efecte d'una EMI sobre una senyal digital.

Així doncs, la CEM abraça dos principis bàsics:

- Interferències Electromagnètiques (EMI). Qualsevol fenomen electromagnètic que pugui crear problemes de funcionament a un equip.  
La CEM estipula que els equips no han d'emetre EMI per sobre d'un nivell estipulat.
- Susceptibilitat o Immunitat Electromagnètica (EMS). Aptitud d'un equip per a funcionar de la forma prevista sense experimentar un degradació en presència de perturbacions electromagnètiques. La CEM estipula que els equips han tenir un nivell de protecció suficient contra les EMI pròpies i de l'entorn.

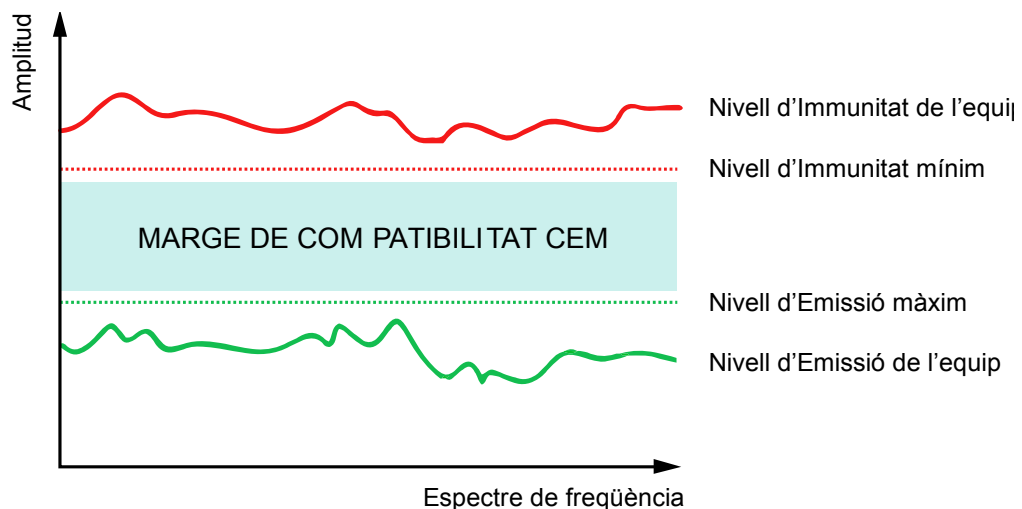


Fig. 11.4. Compatibilitat CEM entre les emissions i la immunitat dels equips.

La Directiva de CEM recomana considerar les problemàtiques de compatibilitat electromagnètica dels aparells des de la fase inicial de disseny. Un disseny inherentment bo és sempre més eficient que una acció correctiva posterior dels defectes.

Aquesta recomanació pren una importància especial davant del fet que la unió de components electromagnèticament compatibles no dona com a resultat un sistema electromagnèticament compatible. Això és conseqüència de que la generació d'EMIs depèn

del tipus d'aplicació, és a dir, de com els diferents components electrònics es connecten entre sí per a desenvolupar una tasca determinada.

Aquesta situació és present a la BCN3D+, ja que cadascun dels elements compleix amb el marcatge CE per separat, però en canvi no es pot afirmar el mateix del conjunt complet.

#### 11.1.4. Tipus d'EMI i acoblaments

En tot plantejament de CEM existeixen sempre tres actors:

- La font generadora d'EMIs.
- La víctima receptora de les EMIs.
- El camí seguit per les EMIs.

Les EMIs viatgen al llarg dels conductors elèctrics, cables, pistes de PCB, o components electrònics, tals como transformadors, inductors, capacitadors, semiconductors, i resistències.

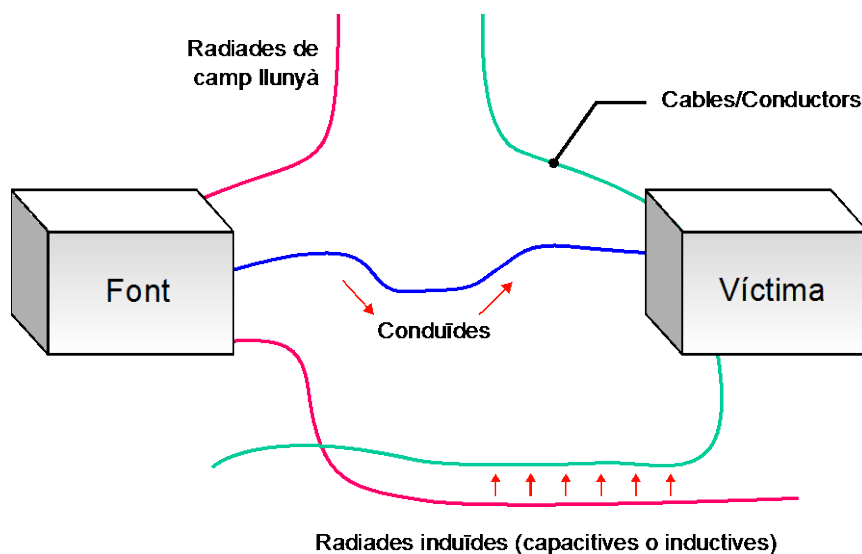


Fig. 11.5. Diagrama dels tres actors de la CEM i els tipus d'EMI.

El mecanisme pel qual es produeix la transferència electromagnètica s'anomena acoblament. Segons el camí seguit per acoblament, les EMI es classifiquen en:

- Interferències conduïdes. Quan el medi de propagació és una connexió física que uneix la font d'interferències amb el receptor (per exemple, cables d'alimentació i retorn, cables de senyal, cables de potència de la xarxa elèctrica, materials conductors o sensors). Acostumen a produir-se a mitges i baixes freqüències, en el rang de 150kHz a 30MHz.

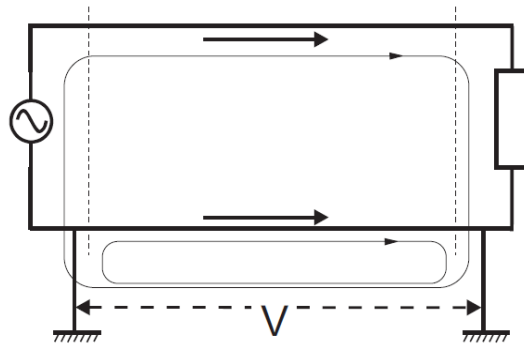


Fig. 11.6. Esquema elèctric d'EMI conduïda a través de masses comunes.

- Interferències radiades. Quan la perturbació es propaga mitjançant el camp electromagnètic (no necessiten un medi transmissor). Acostumen a produir-se a altes freqüències, en el rang de 30MHz a 1GHz.

Es parla de radiació de camp llunyà o de Radiofreqüència (RFI) si:

$$\text{distància de propagació} > \lambda/2\pi, \quad \text{on } \lambda = \text{longitud d'ona} \quad (\text{Ec. 11.1})$$

Es parla d'interferències induïdes o de radiació propera si:

$$\text{distància de propagació} < \lambda/2\pi, \quad \text{on } \lambda = \text{longitud d'ona} \quad (\text{Ec. 11.2})$$

Les interferències induïdes es produeixen principalment entre cables paral·lels propers. En aquest últim cas es distingeixen dos subtipus:

- Capacitives: acoblament a través del camp elèctric.
- Inductives: acoblament a través del camp magnètic.

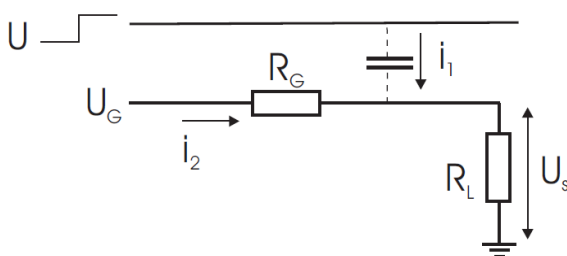


Fig. 11.7. Esquema elèctric d'acoblament capacitiu.

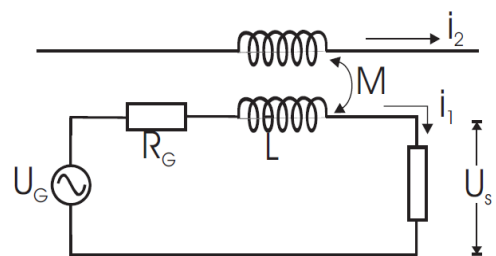


Fig. 11.8. Esquema elèctric d'acoblament inductiu.

## 11.2. Elements de CEM

Els següents elements tenen un paper cabdal en el desenvolupament de la CEM dels aparells elèctrics i electrònics.

### 11.2.1. Massa i cablejat

Per als sistemes electrònics, una massa és una referència de potencial sense perturbacions. Una massa és qualsevol part conductora d'un aparell, accessible al contacte, que en funcionament normal no té tensió, però pot tenir-ne si es produeix una fallada d'aïllament. Exemples de massa són:

- Bastidors de màquines.
- Armaris metàl·lics sense pintar.
- Canaletes metàl·liques.
- Carcasses de transformadors.

Tal com s'ha indicat a l'apartat 10. *Directiva de Baixa Tensió*, la normativa de seguretat elèctrica obliga a connectar les parts conductores al terra de protecció mitjançant un conductor de color verd-groc. Aquesta connexió evita que l'aparell pugui adquirir tensions perilloses, en casos com per exemple una descàrrega atmosfèrica, i permet derivar corrents deguts a contactes indirectes.

Des del punt de vista de la CEM, les connexions equipotencials entre les masses són necessàries per a evitar la circulació de corrents perturbadors entre elles. Aquestes interconnexions s'han d'implementar mitjançant elements conductors específics, tals com platines o trenes metàl·liques. Per a assegurar el bon contacte elèctric, les fixacions han de ser mecàniques i les superfícies no poden estar pintades o anoditzades.

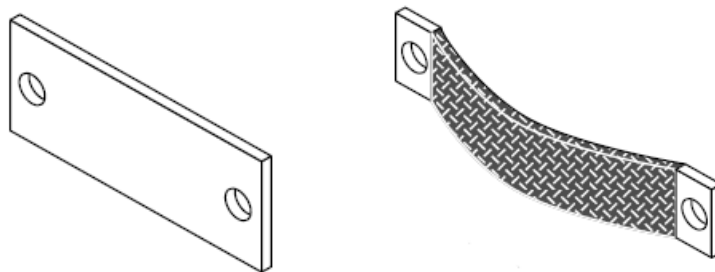


Fig. 11.9. Platina (esquerra) i trena metàl·lica (dreta).

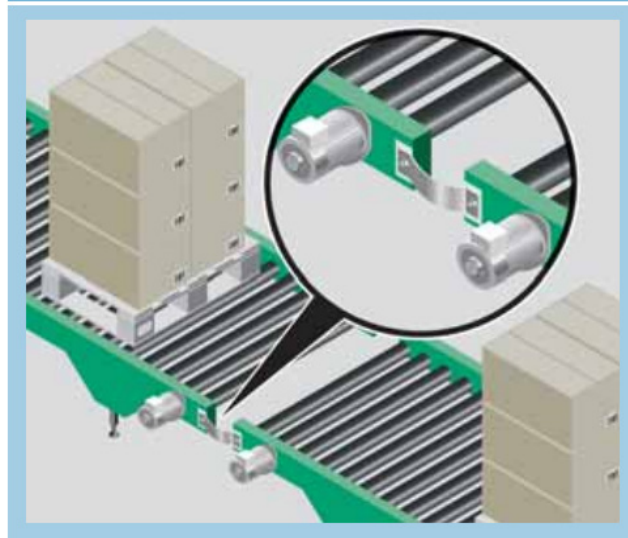


Fig. 11.10. Connexió equipotencial implementada entre dues masses d'una màquina.

#### ▪ Cables

Els cables són els principals acobladors electromagnètics, ja que actuen com a antenes. Per a eliminar les EMI acoblades als cables, cal presentar un camí cap a massa de menor impedància elèctrica que el camí ofert per l'equip. Això s'aconsegueix utilitzant pantalles, que consisteixen en cobertures metàl·liques que actuen com a gàbies de Faraday al voltant dels cables que protegeixen.

La connexió de les pantalles a massa ha de tenir una bona continuïtat elèctrica i mecànica, ja que l'eficiència de l'apantallament depèn d'aquest contacte. En la majoria de casos, les pantalles es connecten en ambdós extrems, per mitjà d'abraçadores o passacables metàl·lics [17].

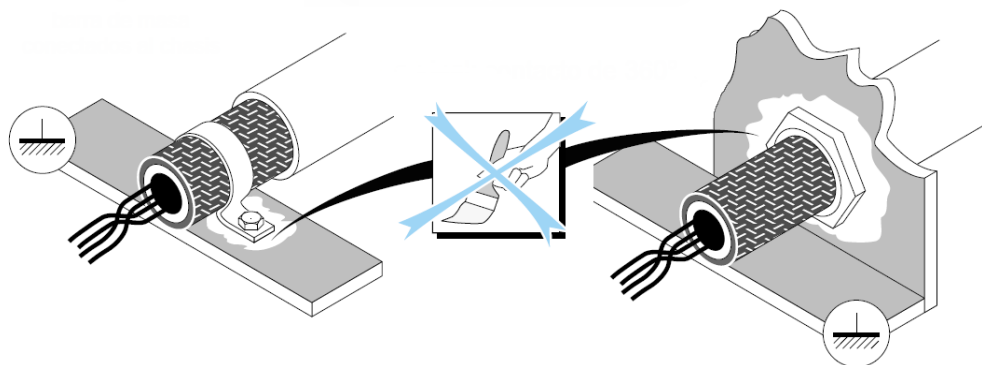


Fig. 11.11. Connexió a massa correcta realitzada amb platina (esquerra) i passacables (dreta).

En particular, els passacables metàl·lics són especialment eficients ja que garanteixen la continuïtat de l'apantallament en 360 graus.

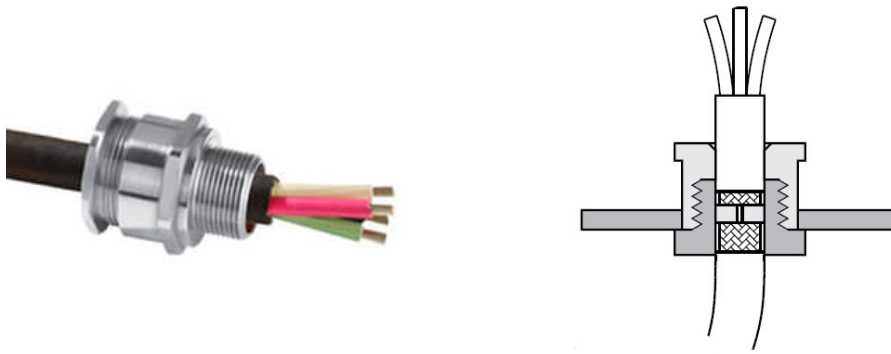


Fig. 11.12. Passacables metàl·lic. (esq.). Vista esquemàtica de la secció d'un passables (dreta).

S'ha de fugir de les connexions tipus “cua de cavall”, realitzades amb un conductor simple, ja que a altes freqüències la seva impedància respecte la massa és alta, i desapareix l'eficàcia de la pantalla.

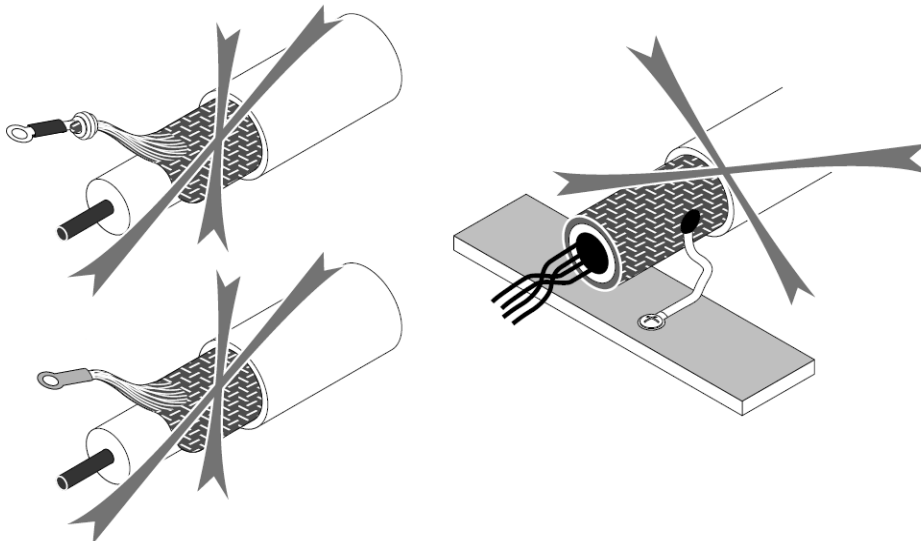


Fig. 11.13. Connexió incorrecta amb 'cues de cavall'.

### 11.2.2. Font d'alimentació

Els sistemes que s'alimenten des de la xarxa elèctrica poden ser afectats per perturbacions presents a la mateixa. Aquestes poden ser producte de causes variades com:

- Connexió i desconexió de grans càrregues inductives.
- Descàrregues atmosfèriques (llamps) sobre la xarxa.
- Commutacions.
- Forats de tensió.

Aquestes variacions en les característiques de l'alimentació poden transmetre's als aparells a través de la font d'alimentació.

D'altra banda, la font d'alimentació emprada a la BCN3D+ és una font commutada CA-CC. Aquests tipus de fonts transformen l'energia elèctrica mitjançant la commutació de transistors a una freqüència elevada. Són d'ús habitual, ja que tenen unes dimensions i pes reduïts, gran eficiència i poc escalfament. Per contra, són generadores de perturbacions electromagnètiques a alta freqüència, que afecten als aparells propers.

### 11.2.3. Microcontrolador

El microcontrolador (MCU) és un circuit integrat capaç d'executar les ordres emmagatzemades a la seva memòria. En el cas de la BCN3D+ el MCU és la placa model Arduino Mega 2560. Segons el fabricant Arduino LLC, la placa posseeix el marcatge CE de CEM, però com s'ha esmentat prèviament, aquest és completament dependent de l'aplicació on s'implementa el component. Així doncs, no es garanteix la satisfacció dels requeriments CEM per a la BCN3D+.

Tot microcontrolador consta d'un circuit anomenat oscil·lador o rellotge, que li indica la velocitat de treball. Aquest genera una ona quadrada d'alta freqüència que s'utilitza com a senyal per a sincronitzar totes les operacions del sistema. En el cas de l'Arduino Mega 2560, el rellotge es troba integrat al propi microcontrolador i treballa a una velocitat de 16MHz.

Per al control dels motors, el MCU utilitza polsos quadrats d'amplada modulada (PWM). Tota senyal quadrada es compon d'ones sinusoidals de freqüències múltiples, tal com mostra una anàlisi de Fourier. Aquestes constitueixen una font de soroll electromagnètic.

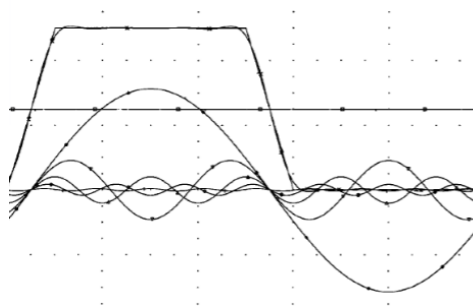


Fig. 11.14. Anàlisi de Fourier d'una senyal PWM.

Per últim, el corrent elèctric que circula per les pistes o camins de l'interior del MCU, es comporten de manera similar a la resta de cables de l'aparell. Això significa que presenten fenòmens CEM per conducció i radiació.

### 11.3.Procediments aplicats i anàlisi de resultats

A continuació es comenten els resultats dels assajos realitzats a les instal·lacions del GCEM. Com s'ha esmentat prèviament, les proves apliquen els principis tècnics estipulats a les normes **EN 5022:2010** i **EN 5024:2012**. En funció del nivell d'emissions tolerable, les normes divideixen els aparells en dos classes:

- Classe B – Pensats per a ser utilitzats en ambient domèstic, i compleixen els requeriments d'emissió per a Classe B. És el cas de la BCN3D+.
- Classe A – Aquells que no compleixen els requeriments de Classe B, però sí compleixen els requeriments d'emissió de Classe A. En aquesta cas, en les instruccions d'ús s'ha d'incloure la següent advertència: "Alerta. Aquest és un producte de classe A. En un entorn domèstic aquest producte pot causar interferències de radio, en tal cas l'usuari pot ser requerit a prendre mesures adequades."

Per a tal a avaluar la resposta de la BCN3D+, s'han considerat vàries posicions de l'aparell i dos estats de funcionament (Enggada en repòs o En funcionament). És necessari avaluar la màquina en diferents posicions respecte els aparells de medició de la sala d'assaig, ja que aquest paràmetre afecta a les propietats captadores d'aquells.

La selecció de gràfiques a continuació mostra clarament que les emissions no es situen dins els límits acceptables. En particular, s'observa que quan la màquina es posa en funcionament, el gir dels motors augmenta les pertorbacions emeses en una franja de freqüències elevada (a partir de 7 MHz). També s'observen pics elevats a freqüències múltiples de la freqüència de treball de l'oscil·lador (16 MHz).



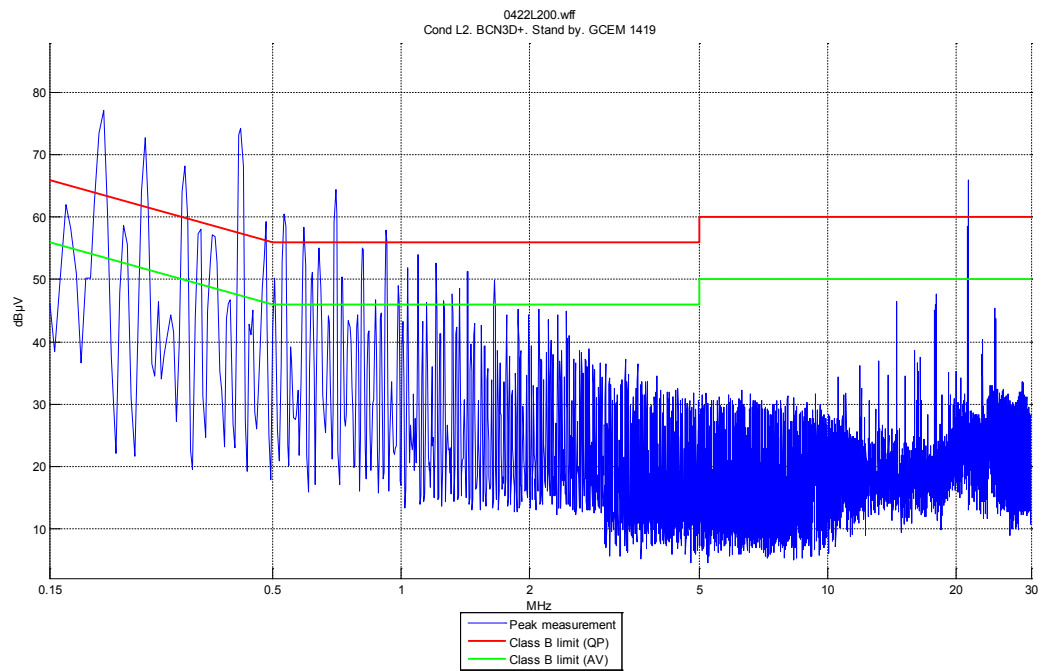


Fig. 11.15. Emissions conduïdes, aparell engegat i en repòs.

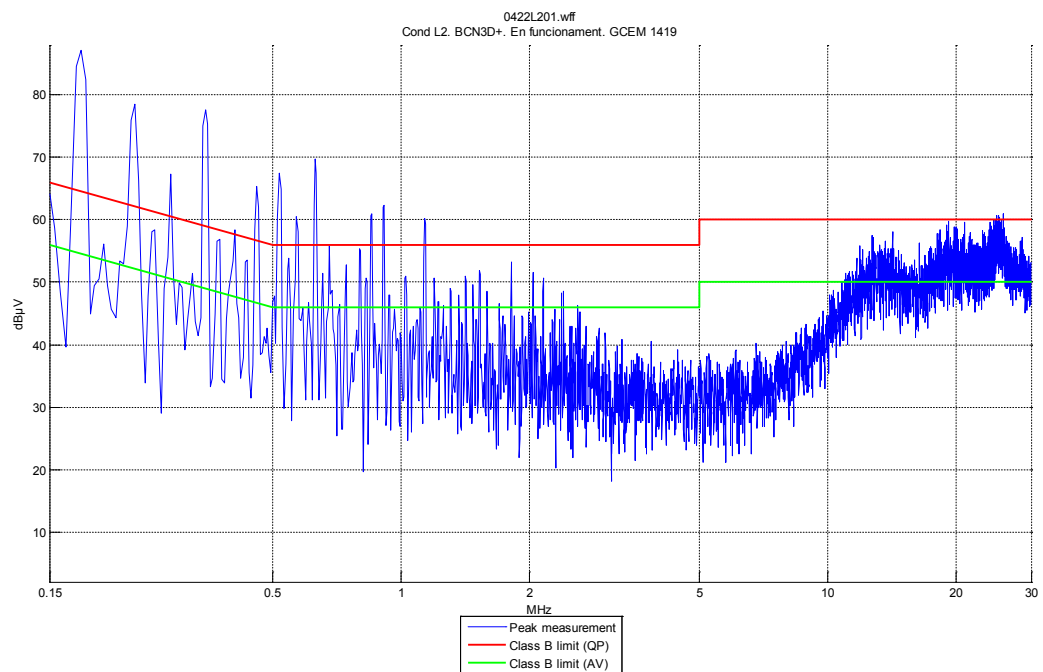


Fig. 11.16. Emissions conduïdes, aparell imprimint.

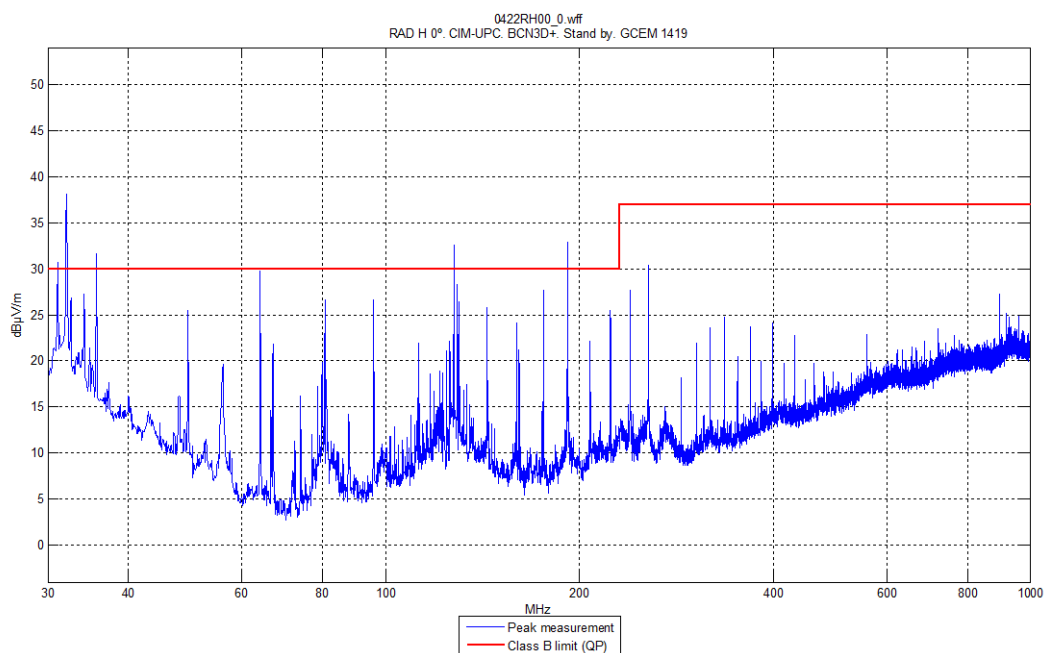


Fig. 11.17. Emissions radiades, aparell en repòs i posició a horitzontal.

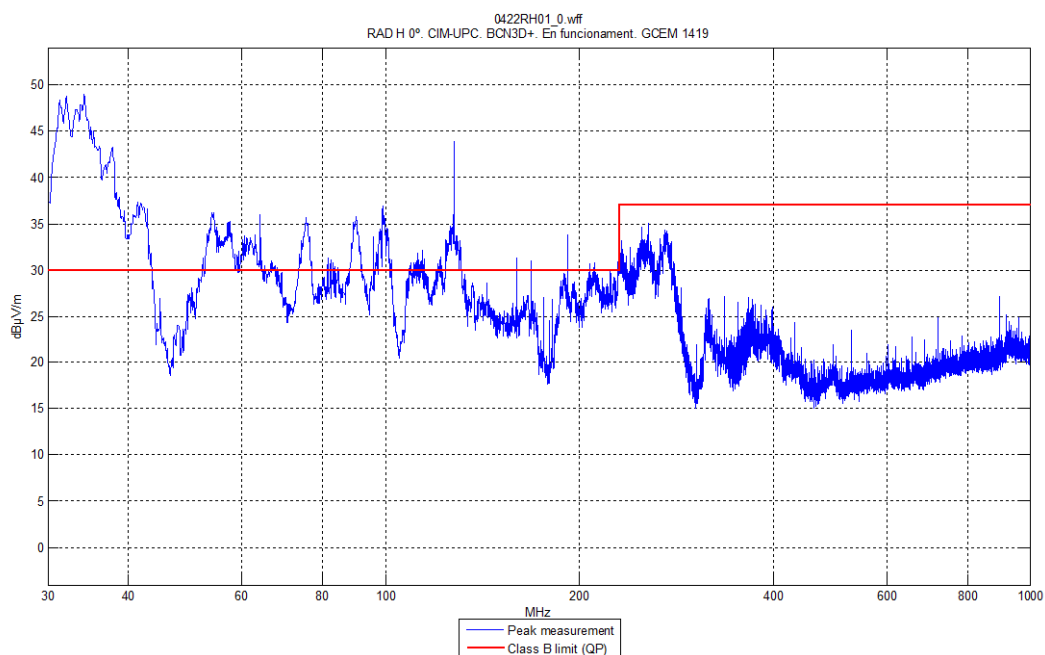


Fig. 11.18. Emissions radiades, aparell en funcionament i posició horitzontal.

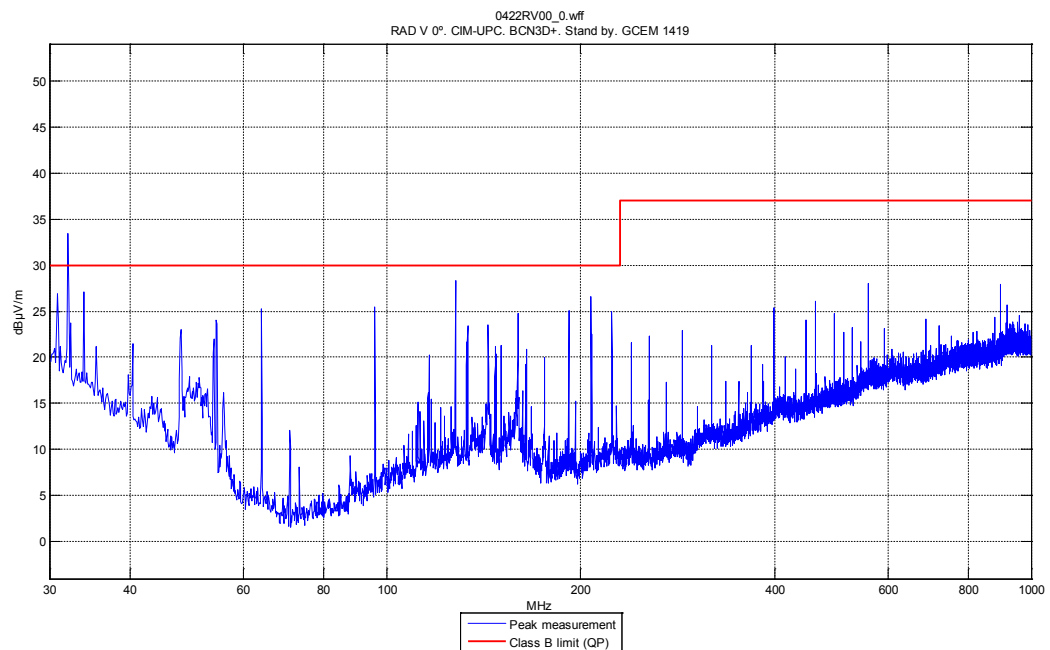


Fig. 11.19. Emissions radiades, aparell engegat en repòs, i posició vertical

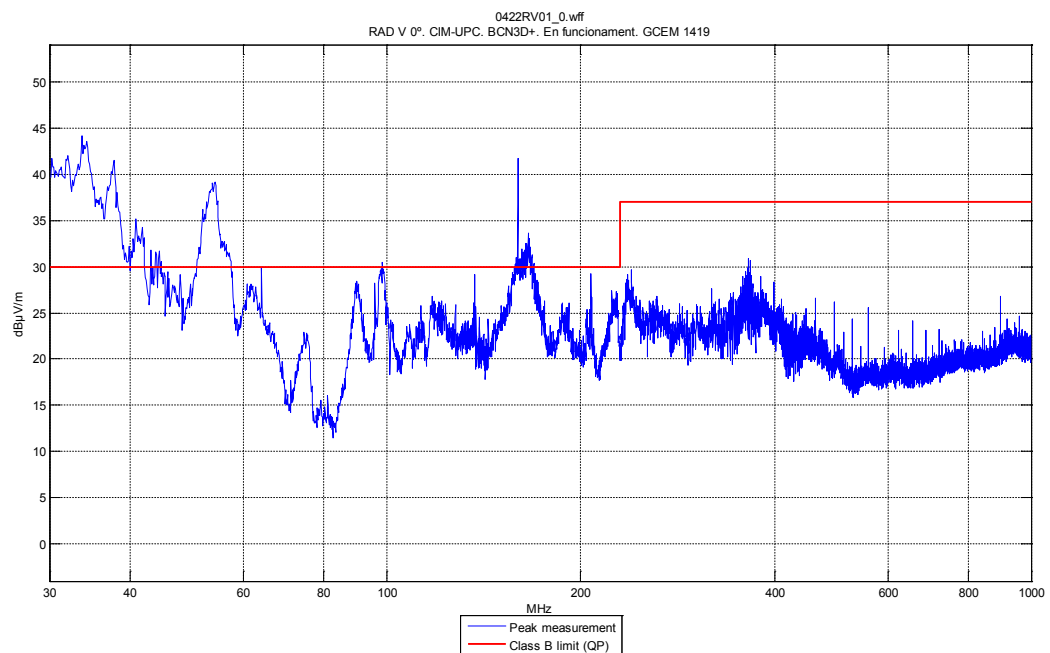


Fig. 11.20. Emissions radiades, aparell en funcionament i posició vertical.

## 11.4. Mesures per a assolir la conformitat de CEM

A continuació es llisten mesures generals per a millorar la CEM de la BCN3D+, per a cadascun dels elements dels subsistemes elèctric/electrònic.

### 11.4.1. Recomanacions generals de cablejat

Com s'ha indicat prèviament, els cables són els principals acobladors de pertorbacions, de manera que són moltes les mesures aplicables. A continuació se'n citen algunes [18]:

- Minimitzar la longitud dels feixos de cables, per a reduir la longitud l'acoblament entre ells. Es recomana buscar una nova distribució dels components elèctrics/electrònics que permeti escurçar els cables. En el cas particular de la BCN3D+, els cables que van als motors i el cable que va de la pantalla a la placa microcontroladora.
- No barrejar parts filtrades amb parts sense filtrar.
- Separar les parts de potencia (cables d'alimentació de la xarxa) dels elements electrònics de baixa tensió.
- Separar les funcions que produeixen fortes pertorbacions i les funcions sensibles. Es recomana separar i agrupar els cables per famílies: cables apantallats, cables de potencia no apantallats, cables de senyal, cables de control.
- Tots els cables han d'estar en contacte a superfícies metàl·liques en tota la seva longitud, especialment quan son llargs (>3m).
- Els senyals d'alimentació i retorn s'han de cablejar junts, i si fos possible, trenant els fils corresponents.
- Mantenir tots els elements electrònics referits a una superfície metàl·lica pròxima, mitjançant una trena metàl·lica ampla (>1cm) i curta (<10cm).
- Trenar els cables sensibles a les pertorbacions d'alimentació i de retorn. Per a la transmissió de dades, sovint es necessiten cables trenats, amb cables de terra intercalats.
- Usar parells trenats a les càrregues, per a evitar la creació d'antenes que poden radiar camps magnètics.
- Quan s'entrecreuen cables, fer-ho en angle recte.
- Col·locar els conductors sobre un pla de massa. Mantenir-los lluny de qualsevol obertura com sigui possible, ja que les obertures actuen com a antena.

- Els feixos de cables s'han de mantenir almenys a 10 cm de qualsevol font de camp elèctric i magnètic.
- Utilitzar pantalles o cables apantallats.
- No connectar les pantalles a massa mitjançant fils (mètode conegut com “cua de cavall”), sinó per mitjà de platines conductores o connexions en 360 graus.
- Els apantallaments han de ser continus i han de cobrir completament els conductors.
- La zona exposada d'un cable apantallat en un connector o terminal no ha d'excedir els 10 mm de longitud.
- Els cables que transporten senyals de freqüència inferiors a 10MHz, han de finalitzar i connectar la pantalla a massa únicament en el costat del generador o font.
- Els cables que transporten senyals de freqüència superiors a 10 MHz, han de finalitzar i connectar la pantalla a massa en ambdós extrems.

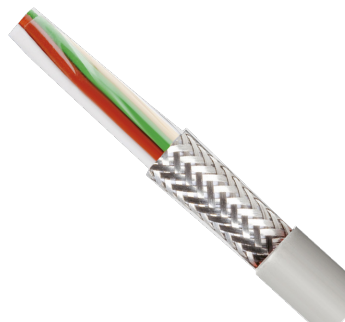


Fig. 11.21. Secció d'un cable apantallat.

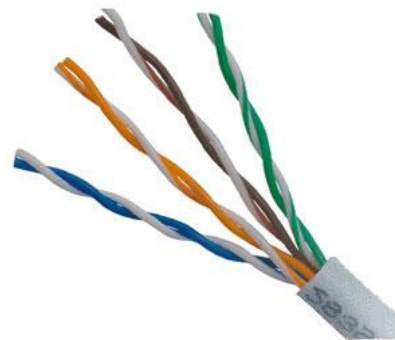


Fig. 11.22. Cables trenats.

### 11.4.2. Font d'alimentació

La font present a la BCN3D+ posseeix el marcatge CE. No obstant, es recomana utilitzar una font d'iguals característiques i millors prestacions.

Donat el corrent elèctric total requerit per l'aparell (16A), és possible substituir el tipus de font actual per una font encapsulada externa. Aquestes fonts presenten una millor protecció contra pertorbacions, ja que incorporen mesures CEM com filtres i ferrites. El propi encapsulat també protegeix contra descàrregues electrostàtiques, i millora la seguretat elèctrica ja que elimina el perill d'electrocució amb els borns.



Fig. 11.23. Font d'alimentació encapsulada externa.

### 11.4.3. Microcontrolador

El MCU usat en la BCN3D+, Arduino Mega 2560, posseeix el marcatge CE, però com s'ha discutit prèviament, el marcatge individual de components no proporciona com a resultat un sistema conforme amb els requeriments del marcatge CE.

Es pot resumir que la causa principal del soroll electromagnètic a la BCN3D+ és el conjunt format per:

MCU Arduino Mega 2560
Placa RAMPS 1.4
Controladors dels motors pas a pas
+ Motors pas a pas
<hr/>
= alta generació d'EMIs

Fig. 11.24. Principals elements pertorbadors de la BCN3D+.

Aquest subsistema electrònic s'ha conformat a partir d'elements estàndard, no dissenyats específicament per a la impressora BCN3D+, i per tant no contemplen els problemes CEM que hi poden aparèixer. De manera general, aquest conjunt presenta els següents errors de disseny:

- Els pins sense connectar del MCU actuen com a antenes. Això fa que es pugui emetre i rebre soroll electromagnètic.

- Per extensió del punt anterior, els pins mal connectats entre les plaques Arduino Mega 2560 i RAMPS 1.4 actuen d'antena.
- No hi ha filtres implementats.
- No hi ha uns bons controladors dels motors pas a pas.
- La distància de separació entre els controladors dels motors i els propis motors és excessiva, i els cables actuen d'antena de les EMI's generades.

Caldrà dissenyar doncs un nou sistema electrònic, específic per a l'aplicació. Es recomana el disseny d'un nou microcontrolador que incorpori eficaçment les dues plaques apilades actuals, el MCU Aduino Mega 2560 i la RAMPS 1.4. Per aquest nou disseny es recomana seguir les següents recomanacions:

- Incorporar filtres.
- Incorporar controladors per als motors de pas de millors prestacions.
- Alternar les pistes de massa entre pistes de senyal, per a disminuir la diafonia a altes freqüències.
- Crear bons plans de massa, amb connexions curtes entre components i línies de terra que parteixin d'un sol punt.
- Separar els elements d'alimentació dels elements de control.
- Realitzar un bon encapsulat, que no presenti pins a l'aire ni males connexions.

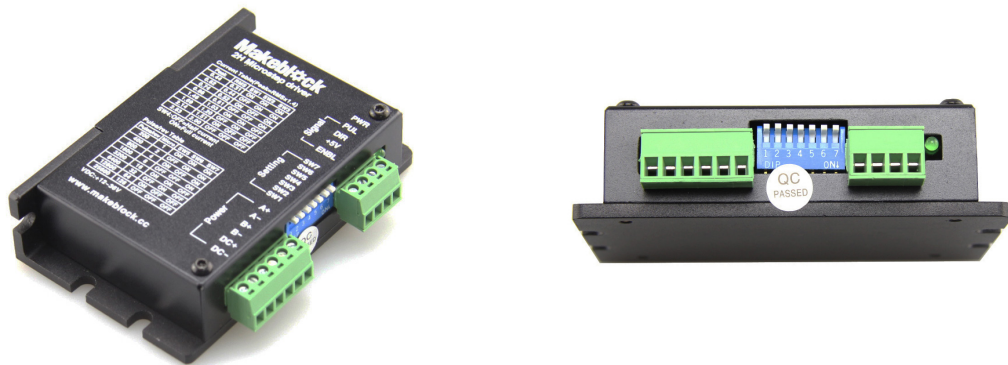


Fig. 11.25. Vistes d'un model de controlador de motors pas a pas d'altres prestacions CEM.

#### ▪ Funció de Reinici

Tot MCU ha de disposar d'un sistema de reinici automàtic. Aquest ha de permetre recuperar l'activitat normal del MCU, en cas que aquest quedi fora d'operació per acció de les pertorbacions. Per aquest motiu, es requereix la presència d'un sistema de vigilància, anomenat WatchDogTimer.

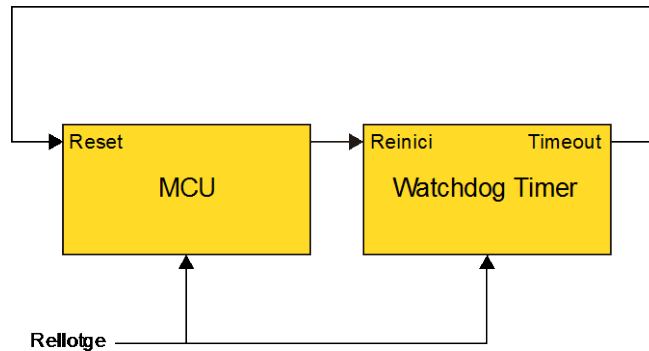


Fig. 11.26. Representació esquemàtica del circuit WDT.

En el cas del MCU Arduino, es pot implementar accedint al codi del firmware, i afegint les següents línies de codi [19]:

```

#include "Marlin.h"
#ifdef USE_WATCHDOG
#include <avr/wdt.h>
#include "watchdog.h"
#include "ultralcd.h"

//=====private variables=====
//=====functions =====
/// initialise watch dog with a 4 sec interrupt time

void watchdog_init() {
#ifdef WATCHDOG_RESET_MANUAL
  //We enable the watchdog timer, but only for the interrupt.
  wdt_reset();
  _WD_CONTROL_REG = _BV(WD_CHANGE_BIT) | _BV(WDE);
  _WD_CONTROL_REG = _BV(WDIE) | WDTO_4S;
#else
  wdt_enable(WDTO_4S);
#endif
}

/// reset watchdog. MUST be called every 1s after init or avr
will reset.
void watchdog_reset() {
  wdt_reset();
}

//=====ISR=====
//Watchdog timer interrupt, called if main program blocks >1sec
and manual reset is enabled.

#ifdef WATCHDOG_RESET_MANUAL
ISR(WDT_vect) {
  //TODO: This message gets overwritten by the kill() call
  LCD_ALERTMESSAGEPGM("ERR:Please Reset");//16 characters so it
fits on a 16x2 display
  lcd_update();
  SERIAL_ERROR_START;
  SERIAL_ERRORLNPGM("Something is wrong, please turn off the
printer.");
  kill(); //kill blocks
  
```



```

    while(1); //wait for user or serial reset
}
#endif//RESET_MANUAL
#endif//USE_WATCHDOG

```

Fig. 11.27. Ordres que activen el WDT del MCU.

#### 11.4.4. Filtres

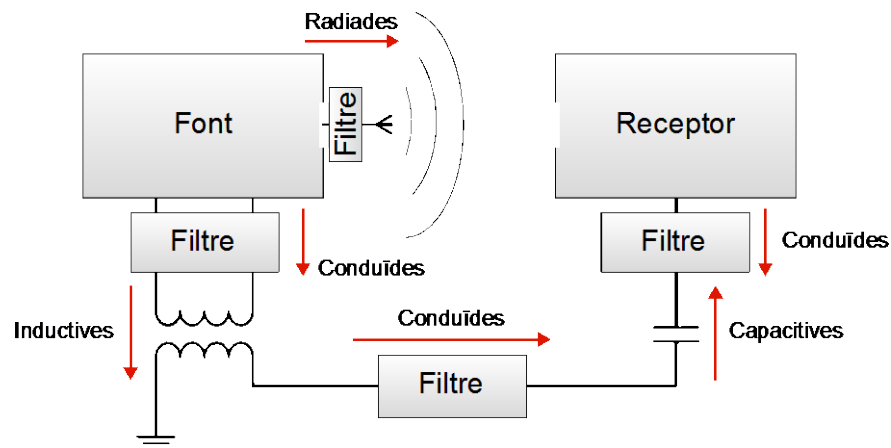


Fig. 11.28. Esquema d'aplicació de filtres.

Tal com mostra la Fig.11.28, es poden usar filtres per a atenuar tots els tipus de pertorbacions. A continuació se'n descriuen dos dels més habituals.

Els filtres d'Interferència de Radio Freqüència (RFI) s'utilitzen per a reduir el nivell de les pertorbacions emeses per un aparell, en la banda de 150kHz a 30 MHz. Dins d'aquest rang de freqüències, els filtres RFI eliminen moltes de les senyals d'amplitud relativament dèbil. S'utilitzen habitualment per a filtrar el corrent provinent de la xarxa elèctrica, i també per a filtrar el soroll enviat pels aparells a la xarxa. Es col·loquen a l'entrada de la font d'alimentació.

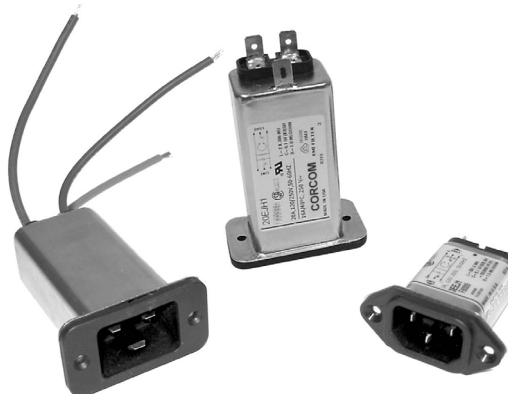


Fig. 11.29. Diferents models de filtres RFI.

Per a filtrar les pertorbacions de més alta freqüència, es poden utilitzar un tipus de filtres anomenats ferrites. Aquestes són peces metàl·liques amb propietats magnètiques, que s'instal·len al voltant dels cables. Cada ferrita té unes característiques que la fan eficaç contra una freqüència determinada.

Per als cables d'alimentació elèctrica, les ferrites s'han d'instal·lar sobre els fils d'alimentació i de retorn, incloent el conductor de protecció. En el cas de cables de senyal, es poden aplicar sobre un dels dos fils. Normalment és necessari aplicar diverses voltes del cable sobre la ferrita, ja que cada volta augmenta l'eficiència de l'atenuació. Si el problema és d'emissions, cal ubicar la ferrita a prop de la font. Si el problema és d'immunitat, cal col·locar-la a prop de la víctima.

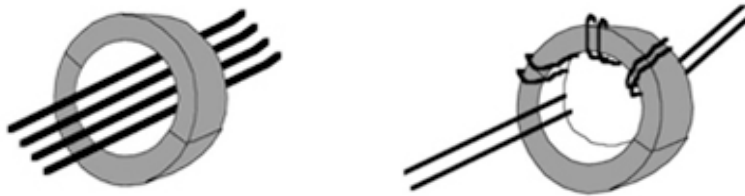


Fig. 11.30. Connexió de ferrites tòriques per a cables d'alimentació (esq.) o senyal (dreta) [18].

Per a cables plans, com el cable de dades de la pantalla de la BCN3D+, es poden usar ferrites planes.



Fig. 11.31. Ferrita tòrica.



Fig. 11.32. Ferrita plana.

#### 11.4.5. Protecció contra descàrregues electrostàtiques

La protecció contra descàrregues electrostàtiques s'aconsegueix impedit el contacte directe amb els components electrònics. A la BCN3D+, els següents elements són especialment sensibles i requereixen protecció contra les descàrregues de corrent estàtica:

- Polsadors de finals de carrera.
- MCU+RAMPS 1.4.

Segons les recomanacions de la Directiva, aquests elements haurien de disposar d'alguna protecció física que dificulti el contacte físic. El MCU ja es troba protegit del contacte. Els polsadors en canvi sí es troben descoberts. La millor solució consisteix en cobrir-los amb carcasses protectores. Es recomana imprimir unes carcasses de plàstic amb la pròpia impressora.

Tots els dispositius sensibles a les descàrregues electrostàtiques no s'han de col·locar a prop dels connectors d'entrada/sortida, ni de cap obertura accessible on pugui ser danyat per una descàrrega.

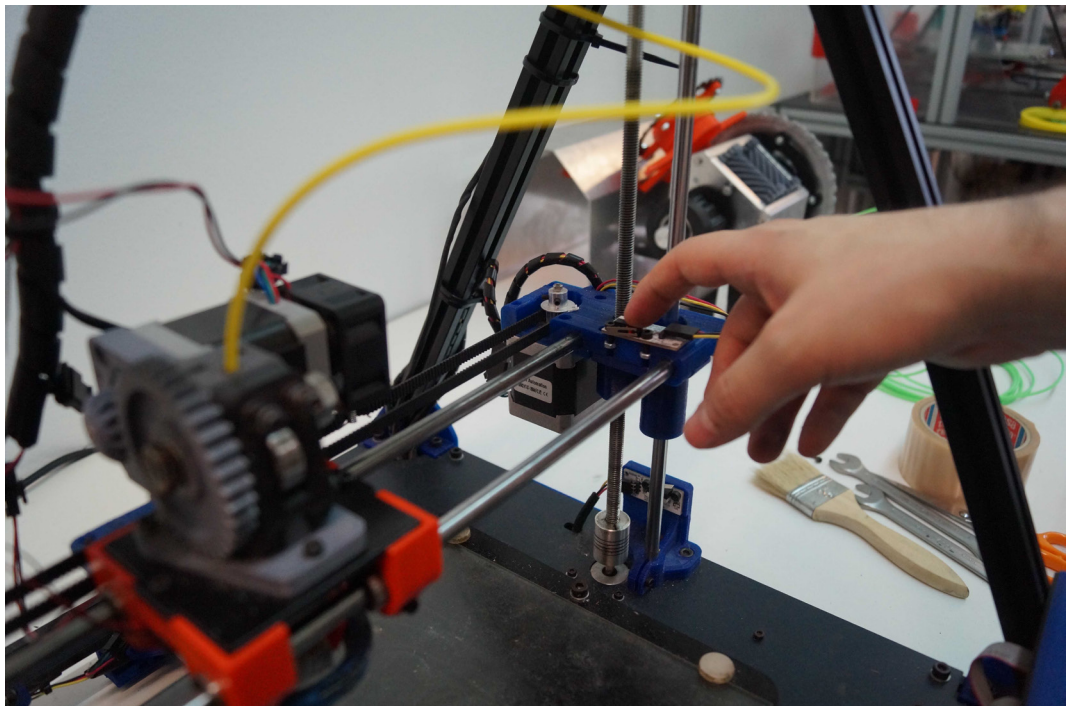


Fig. 11.33. Descàrrega estàtica sobre un component sensible al descobert.

## 12. Materials d'impressió

La BCN3D+ realitza un processament de matèria prima, i per tant, cal considerar els fenòmens físics i químics associats que poden ser problemàtics per a la salut dels operadors.

Tal com descriu la norma **UNE-EN 12100:2012, Apartado 4.8**, els materials i substàncies processats, utilitzats, produïts o despresos per les màquines poden donar lloc a perills variats com:

- Perills resultants de la ingesta, el contacte amb la pell els ulls o les membranes mucoses, de la inhalació de fluids, gasos, boires, fums, fibres, pols o aerosols.
- Perills biològics (per floridures) i microbiològics (per virus o bacteries).

Els materials emprats més habitualment en les màquines tipus FFF són plàstics termoplàstics. A continuació se'n detallen les característiques, així com els fenòmens associats al seu processament tèrmic.

### 12.1. Plàstics Termoplàstics

Els plàstics són uns materials formats per llargues cadenes d'unitats moleculars, anomenades monòmers. Una cadena de monòmers forma un polímer. Quan a un material polimèric s'hi afegeixen diferents additius com càrregues, retardants de la flama, lubricants, pigments i estabilitzadors, aquest passa a anomenar-se plàstic.

Els plàstics es poden classificar en funció de la seva estructura molecular i el consegüent comportament termomecànic. Els termoplàstics presenten una estructura amorfa o semi cristal·lina. Les cadenes polimèriques es disposen de manera desordenada, cohesionades per mitjà d'enllaços secundaris (Van der Waals o ponts d'hidrogen).

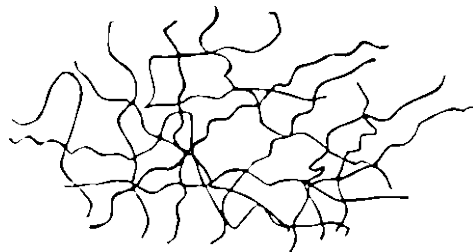


Fig. 12.1. Estructura molecular d'un termoplàstic d'estructura amorfa.

Aquesta estructura fa que presentin una temperatura característica, anomenada Transició Vítrea ( $T_g$ ). Per sota de  $T_g$ , el seu aspecte és sòlid, i el seu comportament mecànic és rígid i fràgil, degut a que les cadenes de polímers no poden desplaçar-se entre elles.

Per sobre de  $T_g$ , els enllaços secundaris de les molècules són molt més dèbils que el moviment tèrmic de les mateixes. Com a conseqüència el polímer es torna gomós, viscoelàstic, i amb capacitat de fluir.

La transició entorn  $T_g$  es pot produir de manera reversible i indefinida, mitjançant l'aportació o cessió de calor, fet que permet reciclar o reutilitzar el material.

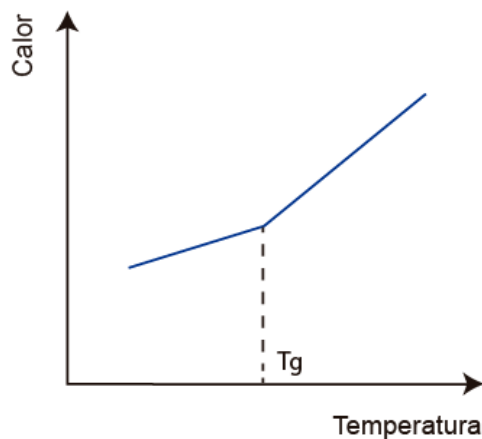


Fig. 12.2. Gràfic de Calor vs Temperatura d'un termoplàstic.

## 12.2. Degradació tèrmica i toxicitat

Els plàstics comercials per a la impressió FFF es distribueixen en estat sòlid, en forma de fil bobinat, i la seva manipulació no presenta directament cap toxicitat.

Durant el procés d'escalfament en canvi, es produeixen fenòmens anomenats de degradació tèrmica. La degradació tèrmica consisteix en la pèrdua de massa, degut a reaccions físiques (evaporació, vaporització, sublimació) i químiques que tenen lloc a l'incrementar la temperatura. Això provoca que s'alliberin contaminants aeris en forma de fums, principalment components orgànics volàtils (VOC) i partícules ultrafines (UFP) [20].

Usualment, aquest fenomen es verifica mitjançant Anàlisi Termogravimètric (TGA), que relaciona la variació percentual de massa d'una mostra en funció de la temperatura.

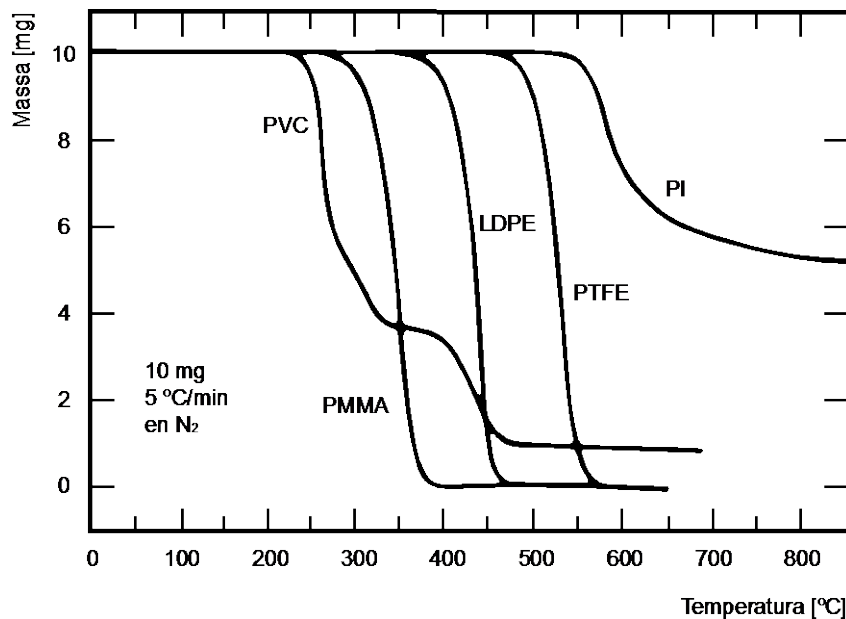


Fig. 12.3. Corbes TGA de cinc polímers diferents [21].

Els VOC són substàncies químiques diverses (inclosos els monòmers constituents del propi plàstic), que tenen una toxicitat variada, en funció de les condicions atmosfèriques i de la composició del plàstic

D'altra banda, les UFP són petites partícules del propi material, d'un diàmetre <100nm, que es generen inevitablement per fricció durant l'escalfament. S'estima que la seva toxicitat és superior a la dels VOC, ja que es dipositen amb molta facilitat als pulmons i les vies respiratòries, i poden arribar al cervell a través del nervi olfatiu. Un cop a l'organisme són molt difícils d'expulsar, i poden provocar una intoxicació molt ràpida.

Estudis recents caracteritzen les impressores FFF com a "alts emissors" de UFP [20]. L'exposició a altes concentracions d'UFP pot comportar efectes adversos per la salut, com asma, apoplexia, o malalties cardíques i pulmonars.

Existeix literatura científica extensa sobre els efectes d'escalfar termoplàstics a nivell industrial [22]. Està provada l'emissió de gasos i partícules tòxiques durant l'extrusió de termoplàstics, en aparells industrials a gran escala i a temperatures moderadament elevades (temperatures d'extrusor entre 170°C i 250°C). A pesar d'això, no es disposa d'un coneixement complet centrat en els processos d'impressió FFF. Un estudi rigorós al respecte involucra molts factors, tals com la formulació específica del plàstic, les condicions atmosfèriques, el procediment experimental aplicat, etc.

Per a il·lustrar aquesta problemàtica, a continuació es descriu un dels plàstics usats més habitualment a les impressores FFF, l'Acrilonitril Butadiè Estirè (ABS).

## ▪ ABS

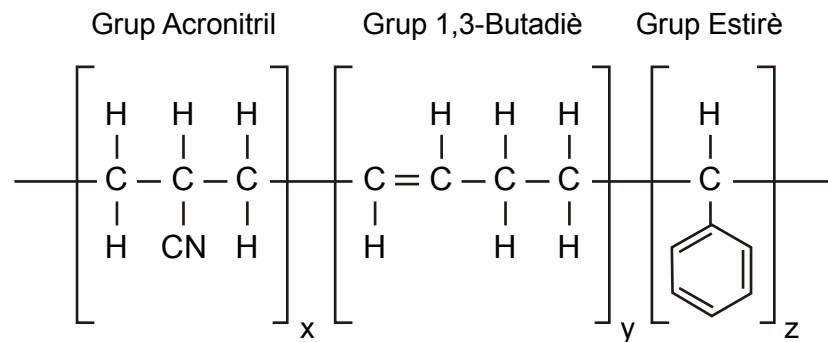


Fig. 12.4. Estructura química de l'ABS.

És un polímer termoplàstic format per 3 monòmers: Acrilonitril, 1-3 Butadiè, i Estirè. La toxicitat individual d'aquests monòmers és coneguda profusament [23]:

- Acrilonitril. Es pot absorbir per inhalació, a través de la pell o per ingestió. Irrita els ulls, la pell, i el tracte respiratori. Pot afectar al sistema nerviós central i al fetge. Pot produir sensibilització de la pell. La exposició a uns nivells molt elevats pot ser mortal. És possiblement un carcinogen humà.
- Butadiè. Es pot absorbit per inhalació. Irrita els ulls i el tracte respiratori. Pot causar efectes en el sistema nerviós central. Pot afectar la medul·la òssia. Pot causar lesió genètica de caràcter hereditari. És possiblement un carcinogen humà.
- Estirè. S'absorbeix per inhalació. És irritant dels ulls, pell, i el tracte respiratori. Pot afectar al sistema nerviós central. L'exposició a alts nivells pot produir pèrdua del coneixement. És possiblement un carcinogen pels éssers humans.

Presenta una temperatura de transició vítria al voltant dels 110°C. Per a les impressions FFF, la temperatura de processament es situa habitualment en el rang dels 215 als 250°C [20].

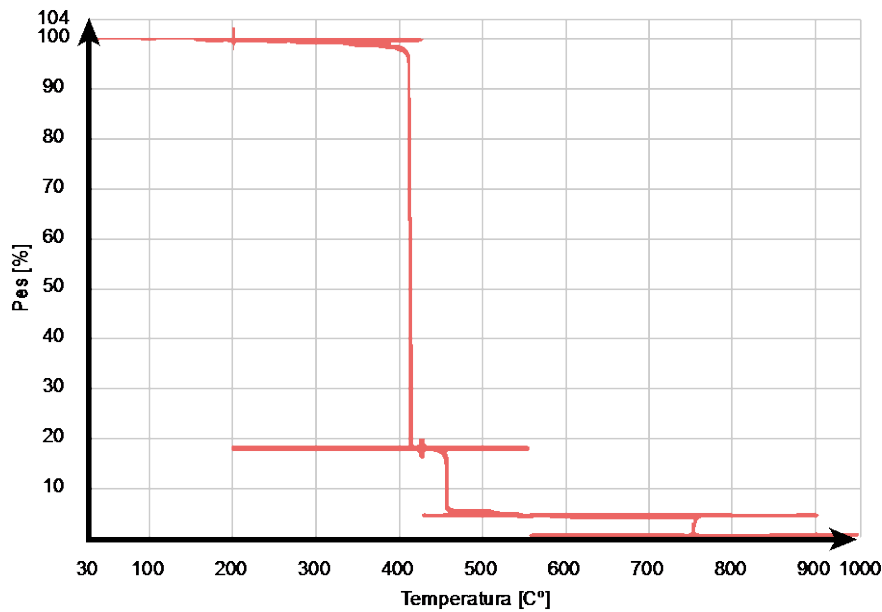


Fig. 12.5. Gràfica TGA per a l'ABS [24].

Durant la degradació tèrmica i/o combustió de l'ABS, les substàncies alliberades amb un grau toxicològic més elevat són [23][25]:

- Monòxid de carboni (CO). S'absorbeix per inhalació. Pot afectar al sistema cardiovascular i el sistema nerviós central. Pot produir la mort.
- Àcid cianhídric (HCN). S'absorbeix per inhalació, a través de la pell o per ingestió. Irrita els ulls i el tracte respiratori. Actua interrompent la respiració cel·lular dels organismes aeròbics, donant lloc a convulsions i pèrdua del coneixement. Pot produir la mort.
- L'estirè. Comentat anteriorment.

Juntament amb els components anteriors, també es poden emetre els VOCs següents:

- Hidrocarburs
- Hidrocarburs aromàtics (s'inclou l'estirè)
- Alcohols
- Cetones
- Aldehids (s'inclou l'acroleïna)
- Àcids
- Acrilonitril

L'acció combinada de tots aquests elements té efectes asfixiants, irritants, narcòtics i tòxics. D'altra banda, els nivells d'emissió de UFP per a l'ABS és aproximadament de  $1.9 \times 10^{11}$  partícules per minut [20].



### 12.3. Solucions al risc posat per l'emissió de fums tòxics

Com s'ha exposat a l'apartat anterior, els fums emesos durant l'escalfament de plàstic suposen un risc per a la salut. La pròpia Comissió Europea ja s'ha pronunciat al respecte [26], i desaconsella utilitzar les impressores FFF en espais tancats sense ventilació o filtratge adequat. En espera d'un coneixement concloent sobre la matèria, i d'una legislació específica, és responsabilitat dels fabricants abordar qualsevol situació de risc generada als usuaris pels seus productes.

La norma **ISO 12100-2:2003**, a l'**Apartado 5, punto 5.4.4.**, ens proporciona informació sobre proteccions i mesures preventives per fer front a aquest risc. Aquestes es sintetitzen en:

- Encapsulat de la màquina
- Extracció localitzada filtrada de les emissions
- Ventilació especial a l'àrea de treball de la màquina

Tal com indica la norma, la millor solució consisteix a tancar l'espai d'impressió de la màquina, i instal·lar un sistema de filtratge de fums. Un filtratge efectiu es pot aconseguir amb els següents components:

- Ventiladors que permetin la recirculació de l'aire
- Un filtre de carboni actiu per a tractar els VOC
- Un filtre de tipus HEPA per tractar les UFP

La BCN3D+ presenta un espai d'impressió obert, que no permet contenir i filtrar les emissions adequadament. D'altra banda, tampoc és factible tancar el volum d'impressió per mitjà de plaques col·locades sobre la seva estructura, ja que degut a la seva forma triangular, l'espai d'impressió es reduiria dràsticament.

La opció més recomanable consisteix per tant en canviar el disseny estructural de la BCN3D+, per un disseny inherentment segur, de forma prismàtica, que sí permeti implementar les mesures esmentades. El tancament de l'aparell haurà d'anar acompanyat d'un estudi sobre l'increment de la temperatura a l'atmosfera de la zona d'impressió.

Si pel contrari, no es vol renunciar al disseny actual de l'aparell, es poden adoptar mesures preventives. Per exemple, es pot dissenyar una capsa contenidora externa, que permeti col·locar la impressora al seu interior, juntament amb els elements de filtratge. Actualment, ja existeixen solucions comercials d'aquestes característiques. La següent figura en mostra un exemple.

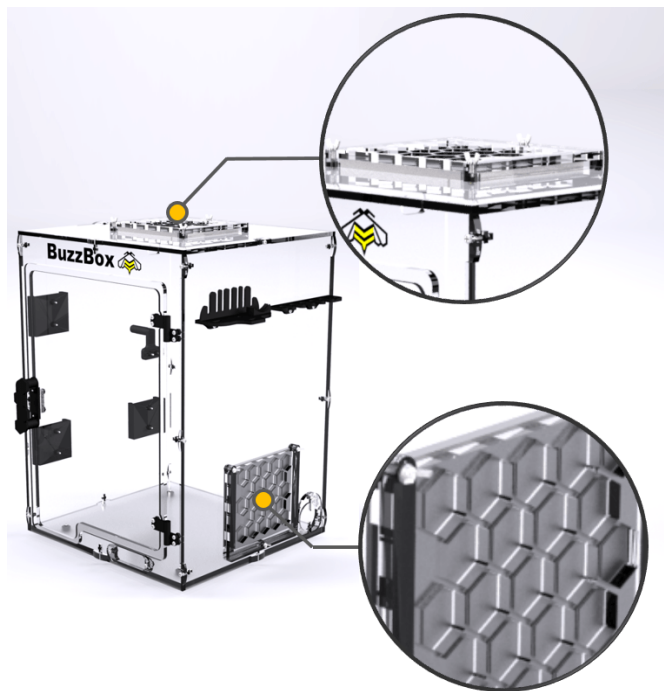


Fig. 12.6. Cambra d'impressió marca BuzzBox <sup>TM</sup>.

## 13. Avaluació del risc

Amb la informació obtinguda de l'estudi de la BCN3D+ es pot realitzar l'Avaluació del Risc completa, tal com s'ha descrit a l'apartat 9.2. Les següents taules recullen l'Avaluació dels riscos de l'aparell en el seu estat actual de distribució, i amb les mesures preventives discutides al present treball.

La implementació de les mesures preventives mostra com tots els riscos es poden considerar de perillositat baixa, i per tant, es poden tractar com a riscos residuals.

Perill : Conseqüència	Elements del Risc	Índex	Mesures preventives	Elements del Risc'	Índex'	Valoració
<b>Perills Mecànics</b>						
1. Parts mòbils: Aixafament dels dits entre els engranatges de l'extrusor.	S:1 F:2 O:3 A:1	2	- Protegir els engranatges amb una tapa.	S:1 F:1 O:1 A:1	1	Assumible
2. Parts mòbils: Atrapament dels dits entre el carro de l'extrusor i els perfils estructurals.	S:1 F:2 O:3 A:1	2	- Cobrir els laterals del carro extrusor amb tires d'escuma protectora.  - Posar un vareta per fer contacte amb el final de carrera de l'eix X, deixant espai per a passar-hi un dit.	S:1 F:1 O:1 A:1	1	Assumible
3. Parts mòbils: Atrapament dels dits entre el llit calent i els perfils estructurals.	S:1 F:2 O:3 A:1	2	- Cobrir d'escuma/goma els laterals del llit i l'estructura per a suavitzar l'impacte.  - Posar una vareta per fer contacte amb els finals de carrera de l'eix Y, deixant espai per a passar-hi un dit.  - Dissenyar una bancada d'una sola peça, que separi la part inferior de la màquina de la superior, i muntar l'eix Y de moviment sobre la bancada.	S:1 F:1 O:1 A:1	1	Assumible
4. Parts mòbils: Atrapament dels dits entre el llit calent i la bancada.	S:1 F:2 O:3 A:1	2	- Posar una falda d'escuma al contorn del llit per la part inferior, que llisqui sobre la bancada i no permeti passar-hi un dit.  - Alinear el llit amb la bancada.  - Augmentar la separació entre el llit i la bancada.	S:1 F:1 O:1 A:1	1	Assumible

5. Parts tallants: Talls i rascades de les mans amb les bores de les barres estructurals.	S:1 F:1 O:3 A:1	2	- Polir les bores dels perfils estructurals abans de distribuir-los.	S:1 F:1 O:1 A:1	1	Assumible
<b>Perills Elèctrics</b>						
6. Borns de la xarxa elèctrica accessibles al contacte directe: Xoc elèctric amb el corrent d'entrada de la xarxa.	S:2 F:2 O:3 A:1	5	- Col·locar una tapa de plàstic que impedeixi totalment el contacte amb els borns de la font.	S:1 F:1 O:1 A:1	1	Assumible
7. Manca de connexions equipotencials: Contacte indirecte a la tensió de treball del sistema.	S:1 F:2 O:3 A:2	2	- Implementar les connexions equipotencials connectades al conductor de terra de protecció.	S:1 F:1 O:1 A:1	1	Assumible
<b>Perills Tèrmics</b>						
8. Parts calentes: Contacte de les extremitats superiors amb l'extrusor.	S:1 F:2 O:3 A:1	2	- Encapsular l'extrusor amb una envoltant protectora, que consti d'un petit orifici per on surti únicament l'extrem del broquet extrusor, reduint l'àrea de contacte.	S:1 F:2 O:2 A:1	1	Assumible
9. Parts calentes: Contacte de les extremitats superiors amb el llit calent.	S:1 F:2 O:3 A:1	2	- No es poden implementar mesures preventives.	---	---	---
10. Parts calentes: Perill d'incendi d'elements externs i interns a l'aparell.	S:1 F:2 O:1 A:1	1	- No es poden implementar mesures preventives.	---	---	---
<b>Perills deguts a les substàncies</b>						
11. Emissió de fums tòxics: Exposició a substàncies i partícules emeses a l'aire, amb efectes sobre l'organisme de diversa gravetat.	S:1 F:2 O:2 A:1	1	- Col·locar l'aparell dins d'una cambra col·lectora de fums  - Disposar d'espais de treball amb bona ventilació.  - Ús de màscares.	S:1 F:2 O:1 A:1	1	Assumible
<b>Perills deguts al soroll (*)</b>						

12. Parts mòbils: Esgotament i/o estrès causat pel soroll dels elements mòbils.	S:1 F:2 O:3 A:1	2	- Usar cascos contra el soroll.	S:1 F:2 O:1 A:1	1	Assumible
<b>Combinació de perills</b>						
13. Enganxament de la roba a algun element mòbil, bloqueig del moviment i cremada de les extremitats superiors amb els elements calents.	S:1 F:2 O:3 A:1	2	- No es poden implementar mesures preventives. Es calculen de nou els índexs en base a les mesures preventives adoptades pels altres perills.	S:1 F:2 O:2 A:1	1	Assumible
14. Xoc elèctric i cremada de les extremitats superiors amb les parts calentes.	S:2 F:2 O:3 A:1	5		S:1 F:2 O:3 A:1	2	Assumible

Fig. 13.1. Taula d'avaluació del Risc per a la BCN3D+.

La indicació (\*) senyala que els riscos causats pel soroll no es poden valorar amb aquest mètode d'estimació de riscos. No obstant, es manté la valoració realitzada de risc assumible. Es recomana l'ús de cascos de protecció personal en cas de fatiga.

## 14. Aspectes mediambientals

A nivell mediambiental, existeixen dues Directives rellevants que imposen requeriments als aparells.

### 14.1. Directiva RoHS 2

#### Títol complet

Directiva 2011/65/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 8 de junio de 2011 sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos.

#### Publicació:

DOUE Serie L, nº 174 de 1.7.2011

#### Transposició i/o Desenvolupament

Real Decreto 219/2013, de 22 de marzo, sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos.

#### 14.1.1. Àmbit d'aplicació

L'objectiu de la **Directa 2011/65/EU RoHS 2** s'especifica a l'**Artículo 1**:

La presente Directiva establece normas en materia de restricciones a la utilización de sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos (AEE) con el fin de contribuir a la protección de la salud humana y del medio ambiente, incluidas mediante la valorización y eliminación correctas, desde el punto de vista medioambiental, de los residuos de AEE.

L'**Artículo 3 Definiciones** defineix els AEE com:

a) «aparatos eléctricos y electrónicos» o «AEE»: todos los aparatos que para funcionar debidamente necesitan corriente eléctrica o campos electromagnéticos, y los aparatos necesarios para generar, transmitir y medir tales corrientes y campos, y que están destinados a utilizarse con una tensión nominal no superior a 1 000 voltios en corriente alterna y 1 500 voltios en corriente continua;

En particular, la Directiva s'aplica a les categories d'aparells elèctrics i electrònics enumerats a l'**Anexo I**:

1. Grandes electrodomésticos
2. Pequeños electrodomésticos
3. Equipos de informática y telecomunicaciones
4. Aparatos de consumo
5. Dispositivos de alumbrado
6. Herramientas eléctricas y electrónicas
7. Juguetes, artículos deportivos y de ocio
8. Productos sanitarios
9. Instrumentos de vigilancia y control, incluidos los instrumentos industriales de vigilancia y control
10. Máquinas expendedoras
11. Otros AEE no cubiertos por ninguna de las categorías anteriores.

L'**Artículo 2** enumera les categories específiques d'aparells excloses de la Directiva:

- a) los aparatos necesarios para la protección de los intereses esenciales de seguridad de los Estados miembros, incluidas armas, municiones y material de guerra destinados a fines específicamente militares;
- b) los aparatos destinados a ser enviados al espacio;
- c) los aparatos específicamente diseñados y que deban instalarse como parte de otro tipo de aparatos que no estén incluidos o no pertenezcan al ámbito de aplicación de la presente Directiva, que puedan cumplir su función solo si forman parte de dichos aparatos y que solo puedan ser sustituidos por los mismos aparatos específicamente diseñados;
- d) las herramientas industriales fijas de gran envergadura;
- e) las instalaciones fijas de gran envergadura;

Com es pot comprovar, la BCN3D+ es veu afectada per la Directiva, ja que pertany a alguna de les categories incloses, i a cap de les excloses. En particular:

3. Equipos de informática y telecomunicaciones
4. Aparatos de consumo
6. Herramientas eléctricas y electrónicas

La directiva no requereix cap símbol o logotip específic per indicar la conformitat amb la **Directa 2011/65/EU RoHS 2**, ja que el propi marcatge CE realitza aquesta funció.

### 14.1.2. Requisits i aplicació

El contingut principal de la Directiva es descriu a l'**Artículo 4 Apartado 1**:

1. Los Estados miembros garantizarán que los AEE que se introduzcan en el mercado, incluidos los cables y las piezas de repuesto destinados a su reparación, su reutilización, la actualización de sus funciones o la mejora de su capacidad, no contengan las sustancias mencionadas en el anexo II.

L'**Anexo II** enumera les substàncies restringides, i els valors màxims de concentració en pes tolerables en materials homogenis dels aparells:

Substància	Símbol/ Abreviatura	Categoria	Concentració admesa
Plom	Pb	Metall pesat	0,1 %
Mercuri	Hg	Metall pesat	0,1 %
Cadmi	Cd	Metall pesat	0,01 %
Crom hexavalent	Cr(VI)	Metall pesat	0,1 %
Polibromobifenils	PBB	Retardants de la flama	0,1 %
Polibromodifenilèters	PBDE	Retardants de la flama	0,1 %

Fig. 14.1. Taula de substàncies restringides.

Els límits esmentats no s'apliquen al pes del producte final o al del component, sinó que s'apliquen a cada element individual del sistema. Això queda aclarit a l'**Artículo 3 Definiciones**:

20) «material homogéneo»: un material de composición completamente uniforme o un material, compuesto por una combinación de materiales, que no pueda dividirse o separarse en materiales diferentes, mediante acciones mecánicas consistentes en destornillar, cortar, aplastar, pulverizar y procedimientos abrasivos;

L'**Artículo 4 Apartado 4 punto a)**, puntualitza però que la restricció de substàncies anterior no s'aplicarà a cables o a peces de recanvi destinades a la reparació, reutilització, actualització de funcions o millora de la capacitat dels AEE introduïts al mercat abans de l'1 de juliol de 2006.



Cap component ni cap subsistema de la BCN3D+ analitzada presenta alguna de les substàncies recollides per la Directiva. Aquest fet es confirma amb les característiques dels components susceptibles, que així ho indiquen:

- La font d'alimentació i el MCU posseeixen el marcatge CE
- La placa RAMPS1.4 està formada de components passius estandarditzats, que no inclouen les substàncies restringides.
- La resta de components elèctrics/electrònics (cablejat, pulsadors de final de carrera), també són elements estandarditzats.

## 14.2. Directiva RAEE 2

### Nom complet

Directiva 2012/19/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 4 de julio de 2012, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE).

### Publicació:

DOUE Serie L, nº 197 de 24.7.2012

### Transposició i/o Desenvolupament:

Real Decreto 110/2015, de 20 de febrero, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. B.O.E. Nº 45 publicado el 21/2/2015.

### 14.2.1. Àmbit d'aplicació

Els objectius de la Directiva es troben recollits al seu **Artículo 1**:

La presente Directiva establece medidas destinadas a proteger el medio ambiente y la salud humana mediante la prevención o la reducción de los impactos adversos de la generación y gestión de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), y mediante la reducción de los impactos globales del uso de los recursos y la mejora de la eficacia de dicho uso (...)

La Directiva de RAEE complementa la Directiva RoHS, en el sentit que la **Directiva 2011/65/EU RoHS 2** aborda aspectes dels AEE durant la fase de disseny, mentre que la Directiva RAEE aborda el tractament dels AEE en la fase final del seu cicle de vida. Més concretament, la Directiva té com a missió fer front a la situació següent:

- Els RAEE formen el flux de residus amb major creixement a l'UE. Actualment la generació de RAEE augmenta cada any entre el 2.5% i el 2.7%.
- Aquest tipus de residus contenen substàncies i materials que poden ser reutilitzats. Moltes d'aquestes substàncies són perilloses per a la salut i el medi ambient.
- Abans de la Directiva RAEE, el 90% d'aquests residus acabaven als abocadors, incinerats o valoritzats, però sense un pretractament apropiat a la seva perillositat.
- L'enviament il·legal de RAEE a països en vies de desenvolupament té un greu impacte ambiental.

Tal com s'ha esmentat, l'objecte de la Directiva el formen els RAEE. La seva definició es recull al **Artículo 3**:

d) «residuos de aparatos eléctricos y electrónicos» o «RAEE»: todos los aparatos eléctricos y electrónicos que pasan a ser residuos de acuerdo con la definición que consta en el artículo 3, apartado 1, de la Directiva 2008/98/CE; este término comprende todos aquellos componentes, subconjuntos y consumibles que forman parte del producto en el momento en que se desecha;

l) «RAEE domésticos»: los RAEE procedentes de hogares particulares o de fuentes comerciales, industriales, institucionales y de otro tipo que, por su naturaleza y cantidad, sean similares a los procedentes de hogares particulares.

Los AEE que pudieran ser utilizados tanto en hogares particulares como por usuarios distintos de los hogares particulares, cuando se conviertan en residuos, tendrán la consideración de RAEE domésticos.

Por exclusión, los «RAEE no domésticos» tendrán la consideración de «RAEE profesionales».

La definició completa de RAEE s'obté a partir de la **Directiva 2008/98/CE, Artículo 3 apartado 1**, que proporciona la definició genèrica de residu.

residuo: cualquier sustancia u objeto del cual su poseedor se desprenda o tenga la intención o la obligación de desprenderse

L'**Artículo 2**, juntament amb els **Anexo I** i **Anexo III**, permeten determinar amb exactitud si un producte es veu afectat per les disposicions de la Directiva. Cal tenir present que la Directiva

estableix un període d'aplicació transitori, que compren del 13 d'agost de 2012 fins el 14 d'agost de 2018, durant el qual les categories de RAEE incloses en el seu àmbit d'aplicació són diferents a les categories posteriors.

Durant el període transitori, els AEE inclosos a l'àmbit d'aplicació de la Directiva es recullen a l'**Anexo I**:

1. Grandes electrodomésticos
2. Pequeños electrodomésticos
3. Equipos de informática y telecomunicaciones
4. Aparatos electrónicos de consumo y paneles fotovoltaicos
5. Aparatos de alumbrado
6. Herramientas eléctricas y electrónicas (con excepción de las herramientas industriales fijas de gran envergadura)
7. Juguetes o equipos deportivos y de ocio
8. Productos sanitarios (con excepción de todos los productos implantados e infectados)
9. Instrumentos de vigilancia y control
10. Máquinas expendedoras

Durant el període transitori, tal i com s'indica a l'**Artículo 2 Apartado 3**, la present Directiva no s'aplicarà als següents AEE:

- a) los aparatos que sean necesarios para la protección de los intereses esenciales de la seguridad de los Estados miembros, incluidas las armas, las municiones y el material de guerra destinados a fines específicamente militares;
- b) los aparatos que estén diseñados e instalados específicamente como parte de otro tipo de aparatos excluido o no incluido en el ámbito de aplicación de la presente Directiva que puedan cumplir su función solo si forman parte de estos aparatos;
- c) las bombillas de filamento.

A partir del 15 de agost de 2018 (fi del període transitori), les categories d'AEE anteriors es substitueixen per 6 noves categories, descrites a l'**Anexo III** de la Directiva:

1. Aparatos de intercambio de temperatura
2. Monitores, pantallas, y aparatos con pantallas de superficie superior a los 100 cm<sup>2</sup>
3. Lámparas
4. Grandes aparatos (con una dimensión exterior superior a 50 cm), incluidos, entre otros: Electrodomésticos; equipos de informática y telecomunicaciones; aparatos de consumo; luminarias; aparatos de reproducción de sonido o imagen, equipos de música; herramientas

eléctricas y electrónicas; juguetes, equipos deportivos y de ocio; productos sanitarios; instrumentos de vigilancia y control; máquinas expendedoras; equipos para la generación de corriente eléctrica. Esta categoría no incluye los aparatos contemplados en las categorías 1 a 3.

5. Pequeños aparatos (sin ninguna dimensión exterior superior a 50 cm), incluidos, entre otros:

Electrodomésticos; aparatos de consumo; luminarias; aparatos de reproducción de sonido o imagen, equipos de música; herramientas eléctricas y electrónicas; juguetes, equipos deportivos y de ocio; productos sanitarios; instrumentos de vigilancia y control; máquinas expendedoras; equipos para la generación de corriente eléctrica. Esta categoría no incluye los aparatos contemplados en las categorías 1 a 3 y 6.

6. Equipos de informática y telecomunicaciones pequeños (sin ninguna dimensión exterior superior a los 50 cm)

Un cop finalitzat el període transitori, l'**Artículo 2 Apartado 4** amplia la llista d'AEE no inclosos en la Directiva amb les següents categories:

- a) aparatos concebidos para ser enviados al espacio;
- b) herramientas industriales fijas de gran envergadura;
- c) instalaciones fijas de gran envergadura, excepto los equipos que no estén específicamente concebidos e instalados como parte de dichas instalaciones;
- d) medios de transporte para personas o mercancías, excluidos los vehículos eléctricos de dos ruedas no homologados;
- e) maquinaria móvil no de carretera destinada exclusivamente a un uso profesional;
- f) aparatos específicamente concebidos con los únicos fines de investigación y desarrollo que están destinados en exclusiva a un uso entre empresas;
- g) productos sanitarios ni productos sanitarios para diagnóstico *in vitro*, cuando se prevea que dichos productos sean infecciosos antes del final del ciclo de vida, ni productos sanitarios implantables activos.

Com es pot comprovar, la BCN3D+ es troba afectada per la Directiva, ja que pertany a les categories d'AEE inclosos (tant del període transitori com posteriorment), i no pertany a cap categoria d'AEE no inclòs:

Categorías del período transitori	Categorías del período post transitori
3. Equipos de informática y telecomunicaciones	5. Pequeños aparatos (sin ninguna dimensión exterior superior a 50 cm), incluidos, entre otros:
4. Aparatos electrónicos de consumo y paneles fotovoltaicos	Electrodomésticos; aparatos de consumo; luminarias; aparatos de reproducción de sonido o imagen, equipos de música; herramientas eléctricas y electrónicas; juguetes, equipos deportivos y de ocio; productos sanitarios; instrumentos de vigilancia y control; máquinas expendedoras; equipos para la generación de corriente eléctrica. Esta categoría no incluye los aparatos contemplados en las categorías 1 a 3 y 6.
6. Herramientas eléctricas y electrónicas (con excepción de las herramientas industriales fijas de gran envergadura)	6. Equipos de informática y telecomunicaciones pequeños (sin ninguna dimensión exterior superior a los 50 cm)

Fig. 14.2.Comparativa entre les categories transitòries i definitives

### 14.2.2. Obligacions als productors

Els aspectes més importants amb incidència directa sobre el present treball estan relacionats amb les obligacions imposades als productors d'AEE. En el cas present, el productor de la BCN3D+ és BCN3D Technologies.

Donada la marcada dependència de la Directiva sobre les polítiques de gestió de l'estat membre on s'aplica, en aquest cas es veu més convenient recórrer al **Real Decreto 110/2015** que implementa la Directiva RAEE. La definició de productor doncs es troba a l'**Artículo 3** de l'esmentat Real Decreto:

h) «Productor de AEE»: cualquier persona física o jurídica que, con independencia de la técnica de venta utilizada en el sentido de la Ley 7/1996, de 15 de enero, de Ordenación del Comercio Minorista en materia de contratos a distancia:

1.º esté establecida en España y fabrique AEE bajo su propio nombre o su propia marca, o los diseñe o fabrique y comercialice bajo su nombre o marca en el territorio español; o

2.º esté establecida en España y revenda bajo su propio nombre o su propia marca AEE fabricados por terceros, sin que pueda considerarse «productor» al vendedor si la marca del productor figura en el aparato, conforme al inciso 1.º; o

3.º esté establecida en España y se dedique profesionalmente a la introducción en el mercado español de AEE procedentes de terceros países o de otro Estado miembro; o

4.º venda AEE por medios de comunicación a distancia directamente a hogares particulares o a usuarios profesionales en España, y esté establecida en otro Estado miembro o en un tercer país.

k) «Distribuidor»: cualquier persona física o jurídica de la cadena de suministro que, con independencia de la técnica de venta utilizada, comercialice un AEE. La presente definición no impedirá a un distribuidor ser al mismo tiempo productor en el sentido de la letra h).

**L'Article 4 Responsabilidad en la producción y gestión de RAEE** del Reial decret estipula les responsabilitats del productor:

d) Los productores de AEE son responsables de financiar, en las condiciones previstas en el capítulo VIII, la recogida separada, el transporte y el tratamiento respetuoso con el medio ambiente de los RAEE domésticos y profesionales, así como sus obligaciones de información en esta materia.

**L'Article 8 Registro Integrado Industrial**, introdueix la obligatorietat dels productors de RAEE d'inscriure's en un registre electrònic habilitat pels Estats membres de la UE:

1. Los productores de AEE o sus representantes autorizados, incluidos los que suministren AEE mediante ventas a distancia en el territorio nacional, deberán inscribirse en la sección especial para los productores de aparatos eléctricos y electrónicos del Registro Integrado Industrial, previsto en la Ley 21/1992, de 16 de julio, de Industria, y en el Reglamento del Registro Integrado Industrial, aprobado por el Real Decreto 559/2010, de 7 de mayo. Para ello facilitarán la información exigida en el anexo VI, apartado 1.

2. El Registro asignará a cada productor de AEE o a su representante autorizado, un número de identificación como productor de AEE.

3. Cada productor, o su representante autorizado, estará obligado a actualizar la información mencionada en el anexo VI apartado 1 en el plazo de un mes desde que se produzca cualquier modificación de la misma. La introducción de los datos se realizará por vía electrónica

En el cas de la BCN3D+, el seu productor BCN3D Technologies es troba a l'estat espanyol, i per tant s'haurà de registrar com a tal en aquest estat.

**L' Article 43. Financiación en materia de RAEE domésticos** defineix les obligacions que tenen els productors sobre el tractament dels RAEE. Obliga a que els productors participin en

el finançament i reciclatge dels RAEE al final de la seva vida útil. Aquest finançament és proporcional a la seva quota de mercat, que es pot consultar al Registre Integral Industrial.

1. Cada productor de AEE domésticos será responsable de financiar, al menos, la recogida, el transporte y el tratamiento de los RAEE domésticos depositados en los puntos o redes de recogida del sistema, en las instalaciones de recogida de los Entes Locales y de los distribuidores, así como los RAEE domésticos recogidos por los gestores con los que hayan llegado a acuerdos. La gestión de los RAEE que haya sido encargada por las Entidades Locales o los distribuidores directamente a gestores autorizados, podrá ser financiada por los productores de AEE siempre que se base en acuerdos a los que lleguen con los gestores y en los términos en los que en ellos se especifique.

2. Los costes de la gestión de los RAEE mencionados en el apartado anterior incluirán:

a) La identificación, clasificación y almacenamiento de los RAEE entregados en las instalaciones de recogida y la adecuación de las mismas a las condiciones previstas en este real decreto.

b) El transporte de los RAEE desde las instalaciones de recogida hasta los centros de preparación para la reutilización y las instalaciones de tratamiento, incluyendo las etapas de almacenamiento temporal así como los costes de las actividades de identificación y clasificación que puedan realizarse en dichas instalaciones de almacenamiento y tratamiento.

c) La preparación para la reutilización, el tratamiento específico, la valorización y la eliminación realizadas de conformidad con lo previsto en la Ley 22/2011, de 28 de julio, y en este real decreto, de los RAEE recogidos.

(...)

8. Los productores financiarán lo establecido en este artículo en función de su cuota de mercado, por categorías en los términos previstos en este real decreto.

(...)

**A la Sección 3, Artículo 22. Recogida de RAEE domésticos por los distribuidores de AEE,** s'indica que els distribuïdors tenen la obligació de recollir els RAEE dels seus productes. També s'inclou que els distribuïdors amb espais dedicats a la venda de AEE amb més de 400m<sup>2</sup> hauran d'acceptar qualsevol RAEE petit.

1. Los distribuidores con independencia de la superficie de la zona de venta, aceptarán, cuando los usuarios adquieran un nuevo AEE doméstico, la entrega, al menos de forma gratuita, de un RAEE de tipo equivalente o que haya realizado las mismas funciones que el aparato que se adquiere. Los distribuidores deberán cumplir con esta obligación cuando el RAEE sea entregado por el usuario en el punto de venta del distribuidor, así como cuando el usuario realice esa entrega en el hogar al suministrarle un nuevo AEE.

(...)

2. Los distribuidores con una zona destinada a la venta de AEE con un mínimo de 400 m<sup>2</sup>, deberán prever la recogida en sus puntos de venta de carácter minorista, o en su proximidad inmediata, de RAEE muy pequeños, de modo gratuito para los usuarios finales, y sin obligación de compra de un AEE de tipo equivalente.

4. Los distribuidores que lleven a cabo la comercialización de los productos a través de venta a distancia, deberán cumplir con todas las obligaciones del distribuidor, a través de la recogida gratuita de un RAEE de tipo equivalente, bien en el punto de entrega del AEE o en el domicilio del comprador al que se suministre el AEE.

Per a indicar que els RAEE requereixen un tractament separat dels residus domèstics, l'**Anexo X** de la Directiva obliga als productors a estampar els AEE amb el símbol mostrat a continuació, de manera visible, llegible i indeleble.

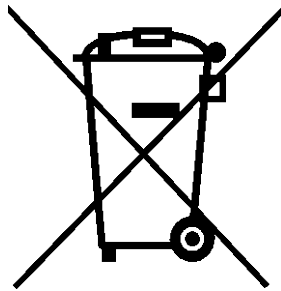


Fig. 14.3. Símbol per a reciclatge separat de la brossa ordinària.



## 15. Informació a l'usuari

L'**Anexo I Punto 1.7 INFORMACIÓN** de la **Directiva de màquines 2006/42/CE** estipula que els productors han d'aportar informació a l'usuari, per tal de garantir la seguretat i el bon ús dels seus aparells. Això és especialment important com a mesura preventiva davant els riscos residuals presents als aparells:

### 1.7.1 Información y señales de advertencia sobre la máquina

(...)

### 1.7.2 Riesgos residuales

(...)

### 1.7.3. Marcado de las máquinas

Cada máquina llevará, de forma visible, legible e indeleble, como mínimo las indicaciones siguientes:

- la razón social y la dirección completa del fabricante y, en su caso, de su representante autorizado,
- la designación de la máquina,
- el marcado CE (véase el anexo III),
- la designación de la serie o del modelo,
- el número de serie, si existiera,
- el año de fabricación, es decir, el año del final del proceso de fabricación.

Está prohibido indicar una fecha anterior o posterior en la máquina al aplicar el marcado CE.

Además, la máquina diseñada y fabricada para utilizarse en una atmósfera potencialmente explosiva debe llevar el marcado correspondiente.

En función del tipo de máquina, esta deberá llevar también todas las indicaciones que sean indispensables para un empleo seguro. Dichas indicaciones deberán cumplir los requisitos establecidos en el punto 1.7.1.

### 1.7.4 Manual de instrucciones

## 15.1. Senyalització de seguretat

La **Directiva de màquines 2006/42/CE, Anexo I REQUISITOS ESENCIALES DE SEGURIDAD Y SALUT, Apartado 1.7 INFORMACIÓN**, estipula que s'ha de comunicar visualment a l'usuari informació i advertències a sobre de la màquina. Aquest fet és especialment important a la BCN3D+, ja que presenta diversos riscos.

### 1.7.1 Información y señales de advertencia sobre la máquina

La información y las señales de advertencia sobre la máquina se deben proporcionar, preferentemente, en forma de pictogramas o símbolos fácilmente comprensibles. Cualquier información o señal de advertencia verbal o escrita se expresará en la lengua o lenguas oficiales de la Comunidad que pueda ser determinada, de acuerdo con el Tratado, por el Estado miembro en el que se comercialice y/o ponga en servicio la máquina y puede ir acompañada, si así se solicita, por las versiones en otras lenguas oficiales de la Comunidad que comprendan los operadores.

#### 1.7.1.1 Información y dispositivos de información

La información necesaria para el manejo de una máquina deberá carecer de ambigüedades y ser de fácil

Comprensión [...] Las pantallas de visualización o cualesquiera otros medios de comunicación interactivos entre el operador y la máquina deberán ser de fácil comprensión y utilización.

### 1.7.2 Advertencia de riesgos residuales

Si, a pesar de las medidas de diseño inherentemente seguro, de los protectores y otras medidas de protección complementarias adoptados, existen riesgos, deberán colocarse las señales de advertencia necesarias.

Adicionalment, la norma **UNE-EN ISO 12100:2012 Apartado 6.4.4. Marcas, signos (pictogramas) y advertencias escritas**, indica que la informació ubicada directament sobre la màquina ha de ser indeleble i llegible durant el cicle de vida esperat.

Com es pot comprovar, un requisit indispensable és evitar el malentès de les informacions transmeses. Per a satisfer aquest principi, s'ha convingut a recórrer estrictament a pictogrames. D'aquesta manera s'evita l'exigència d'expressar els textos en la llengua oficial de l'Estat Membre on es comercialitzi el dispositiu. Els pictogrames necessaris es poden obtenir de la norma:

- **EN 7010:2012. Símbolos gráficos. Colores y señales de seguridad. Señales de seguridad registradas.**

Aquesta normativa té com a objectiu caracteritzar la comunicació visual de perills de manera universal. Neix amb la intenció d'esdevenir l'únic text vàlid per a tots els països de la Unió Europea en aquesta matèria.

En particular, la norma defineix una col·lecció de símbols, classificats en símbols de perill, de prohibició, d'informació o d'obligatorietat. Les figures a continuació mostren les icones seleccionades, amb el missatge que transmeten corresponent:

- *“Prohibido tocar la superficie. Superficie peligrosa. No tocar objeto o partes de un objeto.”*



Fig. 15.1. Prohibit tocar una superfície.

- *“Prohibido introducir las manos en aperturas. Peligro de lesión en las manos. No introducir las manos.”*



Fig. 15.2. Prohibit tocar obertures.

- *“Advertencia de superficie caliente. Peligro de quemadura. Evitar el contacto.”*



Fig. 15.3. Advertència de part calenta.

- *“Advertencia de cierre de partes mecánicas. Peligro de aplastamiento. Alejar las manos de las partes mecánicas en movimiento de cierre.”*



Fig. 15.4. Advertència de tancament de parts mecàniques.

- *“Advertencia de engranajes. Peligro de aplastamiento. Tomar precauciones alrededor de los engranajes.”*



Fig. 15.5. Advertència d'engranatges.

## 15.2. Manual d'instruccions

El manual d'instruccions és un element indispensable per a garantir la seguretat dels aparells. La **Directiva de Máquinas 2006/42/CE** és la directiva més específica i exigent respecte als requisits del manual d'instruccions.

### 15.2.1. Idioma

Tal com diu la **Directiva de Máquinas 2006/42/CE, Apartado 1.7.4:**

(...) Cada máquina deberá ir acompañada de una manual de instrucciones en la lengua o lenguas oficiales comunitarias del Estado miembro donde se comercialice y/o se ponga en servicio la máquina.

Cada màquina haurà d'anar acompanyada en general de dos manuals d'instruccions:

- Un manual designat com a “Manual original”, en la llengua del fabricant. A la portada s'ha d'incloure la indicació “Manual original”.
- Una versió traduïda a la llengua o llengües del país on vagi destinada la màquina per primer cop, que haurà d'incloure a la portada la frase “Traducció del manual original”.

Amb aquesta mesura es limita la responsabilitat jurídica del fabricant. En el manual original, la responsabilitat del fabricant és il·limitada. En la traducció, en cas que hi hagi errors, el

fabricant no ha d'assumir la responsabilitat. Addicionalment, al disposar de les dues versions, l'usuari pot comprovar l'original en cas de no comprendre la traducció.

### 15.2.2. Continguts

El contingut del manual està indicat a l'**Apartado 1.7.4.2**. Ha de contenir com a mínim, i quan sigui pertinent, la següent informació:

- a) la razón social y dirección completa del fabricante y de su representante autorizado;
- b) la designación de la máquina, tal como se indique sobre la propia máquina, con excepción del número de serie (véase el punto 1.7.3);
- c) la declaración CE de conformidad o un documento que exponga el contenido de dicha declaración y en el que figuren las indicaciones de la máquina sin que necesariamente deba incluir el número de serie y la firma;
- d) una descripción general de la máquina;
- e) los planos, diagramas, descripciones y explicaciones necesarias para el uso, el mantenimiento y la reparación de la máquina, así como para comprobar su correcto funcionamiento;
- f) una descripción de los puestos de trabajo que puedan ocupar los operadores;
- g) una descripción del uso previsto de la máquina;
- h) advertencias relativas a los modos que, por experiencia, pueden presentarse, en los que no se debe utilizar una máquina;
- i) las instrucciones de montaje, instalación y conexión, incluidos los planos, diagramas y medios de fijación y la designación del chasis o de la instalación en la que debe montarse la máquina;
- j) las instrucciones relativas a la instalación y al montaje, dirigidas a reducir el ruido y las vibraciones;
- k) las instrucciones relativas a la puesta en servicio y la utilización de la máquina y, en caso necesario, las instrucciones relativas a la formación de los operadores;
- l) información sobre los riesgos residuales que existan a pesar de las medidas de diseño inherentemente seguro, de los protectores y otras medidas de protección complementarias adoptados;
- m) instrucciones acerca de las medidas preventivas que debe adoptar el usuario, incluyendo, cuando proceda, los equipos de protección individual a prever;

- n) las características básicas de las herramientas que puedan acoplarse a la máquina;
- o) las condiciones en las que las máquinas responden al requisito de estabilidad durante su utilización, transporte, montaje, desmontaje, situación de fuera de servicio, ensayo o situación de avería previsible;
- p) instrucciones para que las operaciones de transporte, manutención y almacenamiento puedan realizarse con total seguridad, con indicación de la masa de la máquina y la de sus diversos elementos cuando, de forma regular, deban transportarse por separado;
- q) el modo operativo que se ha de seguir en caso de accidente o de avería; si es probable que se produzca un bloqueo, el modo operativo que se ha de seguir para lograr el desbloqueo del equipo con total seguridad;
- r) la descripción de las operaciones de reglaje y de mantenimiento que deban ser realizadas por el usuario, así como las medidas de mantenimiento preventivo que se han de cumplir;
- s) instrucciones diseñadas para permitir que el reglaje y el mantenimiento se realicen con total seguridad, incluidas las medidas preventivas que deben adoptarse durante este tipo de operaciones;
- t) las características de las piezas de recambio que deben utilizarse, cuando estas afecten a la salud y seguridad de los operadores;
- u) las siguientes indicaciones sobre el ruido aéreo emitido:
  - el nivel de presión acústica de emisión ponderado A en los puestos de trabajo, cuando supere 70 dB(A); si este nivel fuera inferior o igual a 70 dB(A), deberá mencionarse,
  - el valor máximo de la presión acústica instantánea ponderado C en los puestos de trabajo, cuando supere 63 Pa (130 dB con relación a 20 µPa),
  - el nivel de potencia acústica ponderado A emitido por la máquina, si el nivel de presión acústica de emisión ponderado A supera, en los puestos de trabajo, 80 dB(A).(…)

### 15.2.3. Suport

Respecte al suport en que s'ha de presentar la informació, la **Directiva de màquines 2006/42/CE** no concreta si el manual d'instruccions s'ha de facilitar obligatòriament en suport paper, o es pot facilitar en format digital. Únicament estipula que l'usuari ha de ser capaç d'operar la màquina autònomament des del moment de la seva adquisició.

Alternativament, la norma **UNE-EN ISO 12100:2012, Apartado 6.5.4.3**, estipula que els manuals d'instruccions s'han d'elaborar en un format capaç de suportar la manipulació freqüent. També indica que si les instruccions d'ús es guarden en format electrònic, s'ha de realitzar una còpia impresa amb els aspectes de seguretat més crítics, que requereixen una acció immediata.

Per aquestes raons, es determina que el més convenient és generar dos documents informatius:

- 1) Manual d'instruccions complet. Aquest s'entrega únicament en suport electrònic, des del web del fabricant i/o distribuïdor. També es pot entregar per mitjà d'una targeta de memòria que acompanyi l'aparell. La versió actual del manual d'instruccions es pot consultar a l'*Annex A Manual d'instruccions de la BCN3D+* del present treball.
- 2) Documentació breu, en suport paper, amb indicacions essencials sobre la màquina. Consisteix en un extracte del manual complet, i inclou:
  - Informació de contacte del fabricant.
  - Instruccions de desembalatge.
  - Riscos residuals presents.
  - Com realitzar la connexió a l'alimentació.
  - Com engegar l'aparell.

Amb aquesta decisió s'exerceix una política que té en consideració el medi ambient.

## 16. Marcatge CE

Si es prova la conformitat del dispositiu amb els RESS de les Directives aplicables, el marcatge CE exigeix 3 documents finals: la Declaració de Conformitat, L'Expedient Tècnic, i la marca CE.

### 16.1. Declaració de Conformitat

La Declaració de Conformitat és un document legalment vinculant, exigit per totes les directives de nou enfocament, que defineix formalment la responsabilitat del fabricant sobre el seu producte.

Com s'ha comentat a l'apartat 8.5. *Marcatge CE*, el procés d'Avaluació de la Conformitat és, en el cas de la BCN3D+, un procés d'autocertificació. Això significa que el propi productor és qui corrobora que el seu producte compleix amb els requisits essencials exigibles, i en conseqüència, emet la Declaració de Conformitat corresponent. La legislació, a través de les Autoritats de Vigilància del Mercat, preveu mesures per aquells productes que no compleixen amb els requeriments estipulats a la seva Declaració de Conformitat. En aquests casos, en primer lloc s'obliga a retirar els productes del mercat, i si el productor seguís sense complir amb els requeriments, sancions proporcionals a la seriositat de la infracció.

Prenent com a referència la **Directiva de Màquines 2006/42/CE**, les indicacions que ha d'incloure s'estipulen a l'**Anexo II Declaraciones, punto 1. CONTENIDO, parte A. DECLARACIÓN CE DE CONFORMIDAD DE LAS MÁQUINAS:**

(...)

La declaración CE de conformidad constará de los siguientes elementos:

- 1) razón social y dirección completa del fabricante y, en su caso, de su representante autorizado;
- 2) nombre y dirección de la persona facultada para elaborar el expediente técnico, quien deberá estar establecida en la Comunidad;
- 3) descripción e identificación de la máquina incluyendo denominación genérica, función, modelo, tipo, número de serie y denominación comercial;
- 4) un párrafo que indique expresamente que la máquina cumple todas las disposiciones aplicables de la presente Directiva y, cuando proceda, un párrafo similar para declarar que la



máquina es conforme con otras directivas comunitarias y/o disposiciones pertinentes. Estas referencias deberán ser las del texto publicado en el Diario Oficial de la Unión Europea;

5) en su caso, nombre, dirección y número de identificación del organismo notificado que llevó a cabo el examen CE de tipo a que se refiere el anexo IX, y número del certificado de examen CE de tipo;

6) en su caso, nombre, dirección y número de identificación del organismo notificado que aprobó el sistema de aseguramiento de calidad total al que se refiere el anexo X;

7) en su caso, referencia a las normas armonizadas mencionadas en el artículo 7, apartado 2, que se hayan utilizado;

8) en su caso, la referencia a otras normas y especificaciones técnicas que se hayan utilizado;

9) lugar y fecha de la declaración;

10) identificación y firma de la persona apoderada para redactar esta declaración en nombre del fabricante o de su representante autorizado.

En aquest mateix apartat de la Directiva també s'indica que la Declaració de Conformitat i les seves traduccions s'hauran de redactar en les mateixes condicions que el manual d'instruccions, tal com s'indica a l'**Anexo I, punto 1.7.4.1, letras a) y b)**. Això implica que el fabricant ha de proporcionar el document en la seva llengua habitual, i una versió traduïda per a la llengua del país de l'Estat membre de venda.

## 16.2. Expedient Tècnic

L'Expedient Tècnic és un document que serveix per a demostrar, amb informació tècnica, la conformitat de la màquina amb els requisits essencials de les Directives aplicables. Ha d'estar a disposició de les autoritats durant un període mínim de 10 anys, des de la data de fabricació de la màquina o de l'última unitat produïda. El fet de no presentar l'Expedient Tècnic en resposta a un requeriment de les autoritats nacionals competents pot constituir raó suficient per a dubtar de la conformitat de la màquina.

Prenent com a referència la **Directiva de Màquines 2006/42/CE, Anexo VII, apartado A**, l'Expedient es compon dels següents apartats:

(...)

1. El expediente técnico constará de los siguientes elementos:

a) un expediente de fabricación integrado por:

- una descripción general de la máquina,
- el plano de conjunto de la máquina y los planos de los circuitos de mando, así como las descripciones y explicaciones pertinentes, necesarias para comprender el funcionamiento de la máquina,
- los planos detallados y completos, acompañados de las eventuales notas de cálculo, resultados de ensayos, certificados, etc., que permitan verificar la conformidad de la máquina con los requisitos esenciales de salud y seguridad,
- la documentación relativa a la evaluación de riesgos, que muestre el procedimiento seguido, incluyendo:

i) una lista de los requisitos esenciales de salud y seguridad que se apliquen a la máquina,

ii) la descripción de las medidas preventivas aplicadas para eliminar los peligros identificados o reducir los riesgos y, en su caso, la indicación de los riesgos residuales asociados a la máquina,

- las normas y demás especificaciones técnicas utilizadas, con indicación de los requisitos esenciales de seguridad y salud cubiertos por dichas normas,
- cualquier informe técnico que refleje los resultados de los ensayos realizados por el fabricante, por un organismo elegido por este o su representante autorizado,
- un ejemplar del manual de instrucciones de la máquina,
- en su caso, declaración de incorporación de las cuasi máquinas incluidas y las correspondientes instrucciones para el montaje de estas,
- en su caso, sendas copias de la declaración CE de conformidad de las máquinas u otros productos incorporados a la máquina,
- una copia de la declaración CE de conformidad;

b) en caso de fabricación en serie, las disposiciones internas que vayan a aplicarse para mantener la conformidad de las máquinas con la presente Directiva.

El fabricante deberá someter los componentes o accesorios, o la máquina en su totalidad, a los estudios y ensayos necesarios para determinar si, por su diseño o fabricación, la máquina puede montarse y ponerse en servicio en condiciones de seguridad. En el expediente técnico se incluirán los informes y resultados correspondientes.

També s'especifica que l'Expedient Tècnic s'ha d'elaborar únicament en una llengua oficial de la Comunitat, sense necessitat de traduccions.

### 16.3. Marca CE

Un cop es disposa de tots els requisits, es pot procedir a enganxar el distintiu CE al producte. Prenent com a referència la **Directiva de Màquines, Anexo I REQUISITOS ESENCIALES DE SEGURIDAD Y SALUD. Apartado 1.7 INFORMACIÓN, 1.7.3 Marcado de las máquinas**, s'indica el següent:

Cada máquina llevará, de forma visible, legible e indeleble, como mínimo las indicaciones siguientes:

- la razón social y la dirección completa del fabricante y, en su caso, de su representante autorizado,
- la designación de la máquina,
- el marcado CE (véase el anexo III),
- la designación de la serie o del modelo,
- el número de serie, si existiera,
- el año de fabricación, es decir, el año del final del proceso de fabricación. Está prohibido indicar una fecha anterior o posterior en la máquina al aplicar el marcado CE.

El distintiu o marca CE segueix unes directrius estrictes de disseny. Les podem trobar a l'**Anexo X** de la pròpia **Directiva de Màquines 2006/42/CE**.

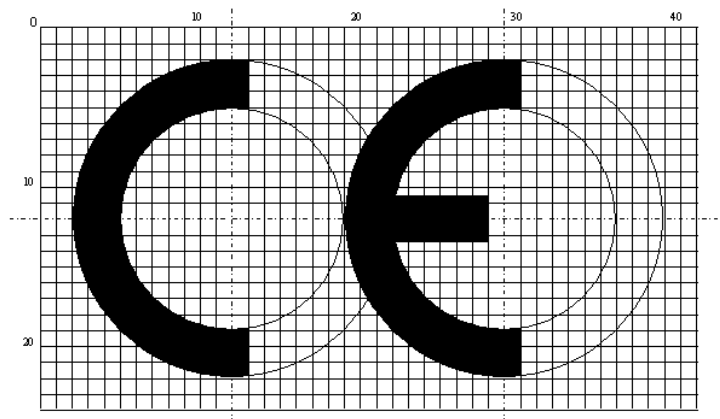


Fig. 16.1. Plantilla oficial per al distintiu CE.

Els diferents elements de la marca CE no poden tenir un dimensió vertical menor de 5mm, excepte en el cas de màquines de dimensions reduïdes. Típicament, la informació anterior es recull en una placa de característiques. El model proposat es mostra a continuació:

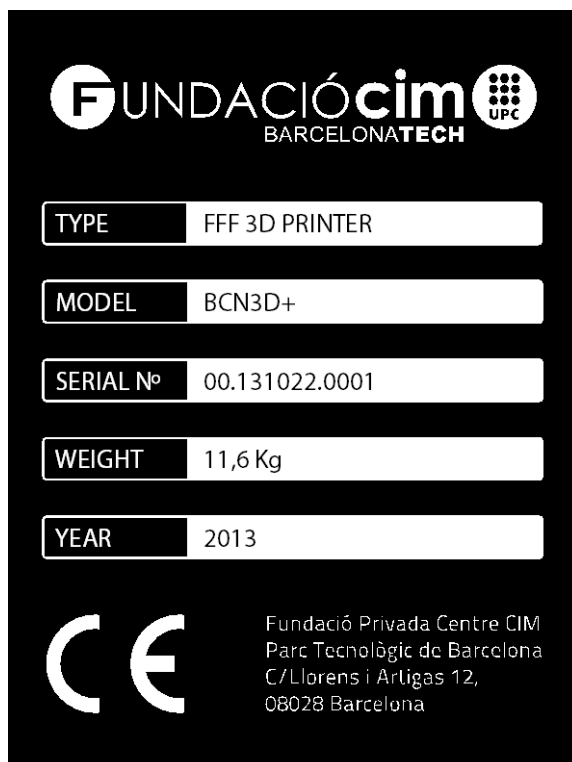


Fig. 16.2. Placa de característiques CE per a la BCN3D+.

Adicionalment, l'apartat **6.4.4. Marcas, signos (pictogramas) y advertencias escritas**, indica

(...) La información dispuesta directamente sobre la máquina debería ser indeleble y permanecer legible durante la vida esperada de la máquina. (...)

S'haurà de col·locar de manera visible en la bancada de la màquina. Es pot fabricar en diferents materials de suport:

- Adhesiu vinílic d'altres prestacions, capaç de suportar les temperatures elevades que es generen en l'ambient de la BCN3D+.
- Suport metàl·lic, roscat sobre la bancada.

## 17. Altres aspectes

En aquest apartat es comenten altres aspectes que es consideren rellevants per a la venda d'un producte al mercat de l'EEE.

### 17.1. Propietat intel·lectual

La Propietat Intel·lectual és el conjunt de drets que corresponen als autors respecte de les obres i prestacions fruit de la seva creació. Està regulada pel text de la **Ley de Propiedad Intelectual**, aprovada pel **Real Decreto Legislativo 1/1996, de 12 de abril**.

La propietat intel·lectual d'una obra pertany a l'autor pel sol fet de ser-ne el creador. Abraça dos tipus de drets:

- Propietat industrial: inclou invencions (patents), marques o noms comercials, dissenys industrials i indicacions geogràfiques.
- Drets d'autor o Copyright: inclou la propietat artística i literària.

Les llicències de programari i maquinari free/open-source s'emmarquen en el context legal dels Drets d'autor. En general, es poden classificar en tres tipologies:

- Llicències Copyright, amb "Tots els drets reservats"
- Obres del Domini públic, "Sense drets reservats"
- Llicències amb "Alguns drets reservats"

- **Llicències Copyright**

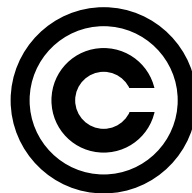


Fig. 17.1. Símbol que indica una llicència de tipus copyright.

Els Drets d'Autor (en anglès, Copyright), atorguen als autors l'exclusivitat sobre les seves obres, de manera que aquells tenen "Tots els drets reservats". L'autor autoritza a l'usuari una explotació determinada de les obres mitjançant el pagament de llicències, anomenades propietàries o privatives. Un exemple d'aquest tipus de llicències en l'àmbit dels FOSS són

les anomenades CLUF, acrònim de Contracte de Llicència per a l'Usuari Final (en anglès, EULA, acrònim de End User License Agreement).

El símbol © s'usa per a notificar un Dret d'Autor. Normalment s'acompanya de l'any i el nom del propietari, i pot ser usat tan si la obra ha obtingut el registre de copyright com si no.

- **Domini públic.**

El domini públic representa el cas contrari als Drets d'Autor. Les obres del domini públic es troben "Sense cap dret reservat". Qualsevol persona pot fer-ne l'ús que desitgi sense demanar permisos i de manera gratuïta. En general, una obra passa al Domini Públic al cap de 70 anys després de la mort de l'autor.

Aquest estatus, no impedeix que certes persones s'apropriïn d'aquestes obres i eliminin la llibertat d'ús. Així doncs, una persona pot realitzar certs canvis sobre una obra, pocs o molts, i distribuir el resultat com a producte privatiu. Aquesta problemàtica va ser la motivació per al desenvolupament de les llicències Copyleft.

- **Llicències Copyleft**

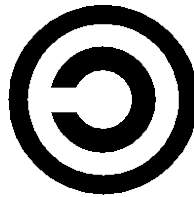


Fig. 17.2. Símbol que indica una llicència de tipus Copyleft.

Les llicències copyleft atorguen als usuaris 4 drets: els drets d'ús, còpia, modificació i redistribució (en la seva forma original o modificada) de l'obra protegida.

Adicionalment contenen una clàusula que imposa a les còpies i obres derivades una llicència amb els mateixos termes i condicions que l'obra original. D'aquesta manera garanteixen legalment la no apropiació dels continguts.

Les llicències Copyleft no eviten la possibilitat d'establir una activitat econòmica, i un contingut es pot utilitzar com a base d'altres productes.

Exemples de llicències copyleft són: GNU General Public License v3.0 (GPL), Creative Commons Attribution-ShareAlike (BY-SA).

Existeix alternativament un subgrup de llicències copyleft menys estrictes, anomenades suaus o febles. Aquestes permeten la publicació d'obres derivades amb llicències distintes a la de l'obra original.

Exemples de llicències copyleft febles són: GNU Lesser General Public License v2.1.(LGPL), Mozilla Public License.

#### ▪ Llicències Permissives

Les llicències de software permissives permeten als redistribuidors retirar alguns o tots els drets originals dels continguts. Essencialment, les llicències permissives només requereixen que es reconegui als autors de les obres originals, però no posen restriccions a com aquestes es poden usar de manera subsegüent. No garanteixen per tant la no apropiació dels continguts.

Exemples de llicències permissives són: BSD License, MIT License.

#### ▪ Llicències amb Alguns drets reservats

Aquestes llicències proporcionen opcions a aquells autors que no volen retenir tots els drets sobre les seves obres. Les llicències amb drets reservats més populars són les llicències Creative Commons. Les condicions en que s'atorguen drets a terceres persones les escull el mateix autor, i són les següents [27]:





Símbol	Significat
	Reconeixement (BY). En qualsevol explotació de l'obra caldrà reconèixer l'autoria original.
	No Comercial (NC). L'explotació de l'obra queda limitada a usos no comercials.
	Sense Obres Derivades (ND). L'explotació no inclou la transformació per a crear una obra derivada.
	Compartir Igual (SA). L'explotació inclou la creació d'obres derivades sempre que s'apliqui la mateixa llicència que l'obra original.

Fig. 17.3. Condicions de les llicències Creative Commons.

Aquestes condicions es combinen per donar lloc a les 6 llicències Creative Commons:








Distintiu	Significat
	<b>Reconeixement (BY).</b> Es permet qualsevol explotació de l'obra, incloent-hi una finalitat comercial, així com la creació d'obres derivades, la distribució de les quals també està permesa sense cap restricció.
	<b>Reconeixement-No Comercial (BY-NC).</b> No es pot utilitzar l'obra original amb finalitats comercials. Es permet la generació d'obres derivades sempre que no se'n faci un ús comercial.
	<b>Reconeixement-No Comercial-Compartir Igual (BY-NC-SA).</b> No es permet un ús comercial de l'obra original ni de les possibles obres derivades, la distribució de les quals s'ha de fer amb una llicència igual a la que regula l'obra original.
	<b>Reconeixement-No Comercial-Sense Obra Derivada (BY-NC-ND).</b> No es permet un ús comercial de l'obra original ni la generació d'obres derivades.
	<b>Reconeixement-Compartir Igual (BY-SA).</b> Es permet l'ús comercial de l'obra i de les possibles obres derivades, la distribució de les quals s'ha de fer amb una llicència igual a la que regula l'obra original.
	<b>Reconeixement-Sense Obra Derivada (BY-ND).</b> Es permet l'ús comercial de l'obra però no la generació d'obres derivades.

Fig. 17.4. Llista de llicències Creative Commons.

Adicionalment, existeixen dues llicències de tipus domini públic:

Símbol	Significat
	<b>Dedicació a Domini Públic (CC0).</b> Amb aquesta llicència, l'autor d'una obra renuncia als seus drets exclusius sobre la mateixa.





**Etiqueta de Domini Públic.** No és estrictament una llicència, sinó una etiqueta que permet identificar aquelles obres a les quals han expirat els drets d'autor, i es troben ja sota el domini públic.

Fig. 17.5. Llicència de domini públic i etiqueta identificativa.

El gràfic següent mostra la ubicació de les llicències Creative Commons dins l'espectre de llicències tipus esmentades [28]:

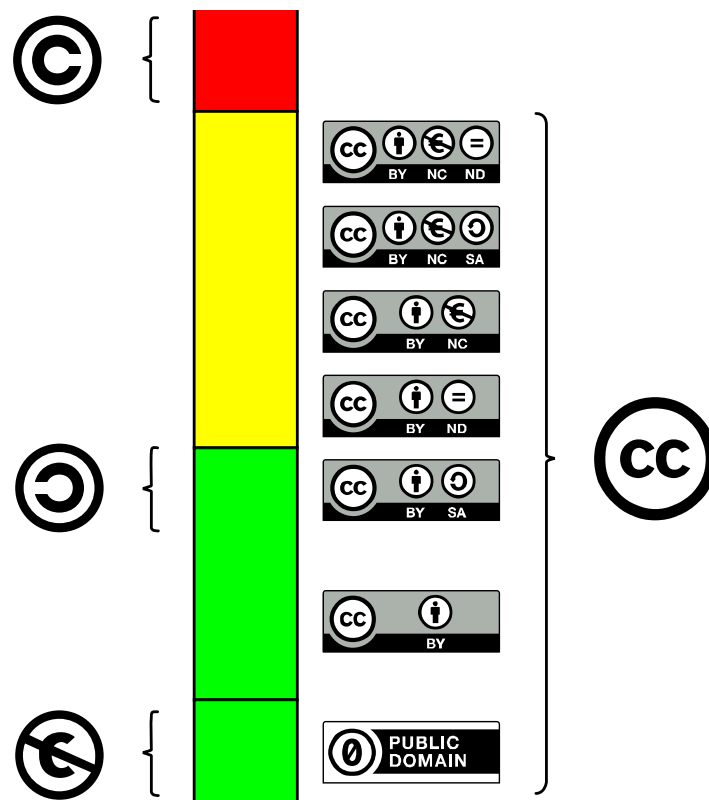


Fig. 17.6. Llicències Creative Commons dins el ventall global de llicències.

### 17.1.1. Llicències recomanades

BCN3D Technologies distribueix el kit BCN3D+ sota un plantejament open-source, encara que sense arribar a concretar un tipus de llicència específic. Es recomana aplicar una llicència de tipus copyleft, per exemple, una de les següents:

- GNU General Public License v3.
- CC BY-SA 3.0.



Fig. 17.7. Logotips de les llicències GPLv3 (esq.)[29] i CC BY-SA (dreta).

Per contra, es suggereix aplicar la Propietat intel·lectual i registrar en el Registre de la Propietat Intel·lectual la marca BCN3D+, els seus logotips i qualsevol element gràfic distintiu. Això impedirà que es puguin fer servir per a identificar productes o continguts, comercials o no comercials, que no siguin publicats per BCN3DTechnologies.

Per a identificar públicament un marca comercial, cal afegir algun dels següents símbols:

- TM - Denota una marca comercial que no està registrada.
- ® - Denota una marca comercial que ha estat registrada per una entitat estatal o organització.

Pel que fa als continguts editorials de la plana web de BCN3DTechnologies, com textos i imatges, es recomana publicar-los sota llicència CC BY-SA 3.0. Això permet que la informació transmesa per BCN3DTechnologies es pugui redistribuir i ampliar a la comunitat RepRap.

## 17.2. Condicions de venda

### Títol complet de la Directiva

Directiva 1999/44/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de mayo de 1999 sobre determinados aspectos de la venta y las garantías de los bienes de consumo.

### Transposició i/o desenvolupament

Real Decreto Legislativo 1/2007, de 16 de noviembre.

#### 17.2.1. Garanties del consumidor

Un aspecte no tècnic rellevant, que s'ha detectat s'està incomplint globalment en la venda d'alguns aparells, està relacionat amb els drets del consumidor. En particular, la garantia entregada pels fabricants.

La **Directiva 1999/44/CE** estipula dos tipus de garanties: la garantia legal i garantia comercial.

#### ▪ **Garantía legal**

És de 2 anys per a productes nous. Si el producte és de segona mà, la garantía és igualment de 2 anys, encara que venedor i comprador poden pactar un període inferior, amb un mínim d'1 any. Les següents puntualitzacions s'han de tenir presents:

- Si es presenta un defecte en el producte durant els 6 mesos següents a la data d'adquisició, es considerarà defecte de fabrica. El consumidor no haurà de provar l'origen del desperfecte per a que se li apliqui la garantia.
- Si es presenta un defecte després de 6 mesos, el consumidor haurà de demostrar que el desperfecte és de fàbrica, i no causat per un mal ús. Es podrien exigir informes pericials que ho demostrin per a aplicar la garantia.

Les reparacions tenen una garantía de 6 mesos, durant els quals el fabricant haurà de respondre de la conformitat del producte.

#### ▪ **Garantia comercial**

És una garantia que els fabricants i venedors poden oferir de manera opcional. Es pot incloure en el preu del producte o no. Representa una millora de la garantia legal, i en cap cas la pot contradir o substituir.

Algunes empreses empenen el terme garantia limitada. Aquest terme no es troba reconegut al text de la Directiva, i s'entén que fa referència a una garantia de tipus comercial, que amplia la cobertura de la garantia legal. De la mateixa manera, si un venedor ven un producte més barat, especificant que "no té garantia", això només significa que el comprador no gaudeix de garantia comercial, però en tot cas segueix disposant del període de 2 anys per exigir compensacions.

Actualment, moltes empreses venen impressores FFF sense oferir cap tipus de garantia. En aquests casos l'escut legal és que les impressores no són productes acabats, sinó lots de peces, de manera que únicament es pot exigir la garantia individual de cada component al fabricant corresponent. Aquest és el cas de la BCN3D+. Mentre que aquest argument és vàlid, altres empreses venen productes finals, que no poden considerar-se lots, i segueixen sense oferir les condicions de venda obligatòries. Aquestes actuacions representen casos de venda fraudulenta i competència deslleial.

El període de garantia comença a partir de la data del tiquet de compra, o la data de l'albarà d'entrega si aquest és posterior

Tal com s'ha esmentat, la BCN3D+ haurà d'oferir una garantia de 2 anys si vol distribuir-se com a producte final i no com a lot.

## 18. Conclusions de l'estudi de la BCN3D+

L'estudi desenvolupat per la BCN3D+ mostra que presenta les problemàtiques pròpies d'un prototip. No pot obtenir el marcatge CE complet, ja que no compleix amb els requeriments essencials exigibles per les Directives de nou enfocament, i per tant no es troba en condicions de poder-se distribuir com un producte final a l'Espai Econòmic Europeu.

Això es tradueix en dos aspectes. En primer lloc, com a resultat de l'aplicació de la **Directiva 2006/42/CE de Máquinas**, es detecten riscos per a la salut, tot i que es poden considerar de perillositat baixa/mitjana:

- Risc de contusions o impactes amb parts mòbils.
- Risc de cremada/incendi amb parts calentes.
- Risc de xoc elèctric.
- Risc d'intoxicació per emissió de fums tòxics.

En segon lloc, es detecta una manca de qualitat de l'aparell, degut a l' incompliment dels requeriments mínims exigits per la **Directiva 2004/108/CE de Compatibilidad Electromagnética**. Això comporta que el subsistema electrònic de la màquina sigui un gran receptor i emissor de soroll electromagnètic, i per tant que el seu funcionament sigui inestable o poc fiable.

Un cop es disposi del marcatge, cal adoptar les polítiques de servei especificades a la **Directiva 2012/19/UE de RAEE**, i les condicions de venda especificades per la **Ley 23/2003 de Garantías de venta**.

Les recomanacions descrites al treball tenen el propòsit d'orientar les modificacions necessàries per tal d'assolir el marcatge CE complet. La Fig. 18.1 mostra esquemàticament els passos que cal emprendre per assolir aquest objectiu. L'entitat propiciadora del present estudi ha decidit avançar en aquest sentit, i reinvertir el coneixement adquirit en un nou model d'impressora, que compleixi amb tots els requeriments legals i tècnics exigibles. Aquest nou model és el BCN3D Sigma.

La viabilitat econòmica del projecte i l'estudi d'impacte ambiental es discuteixen als apartats 20.1 i 20.2 respectivament.

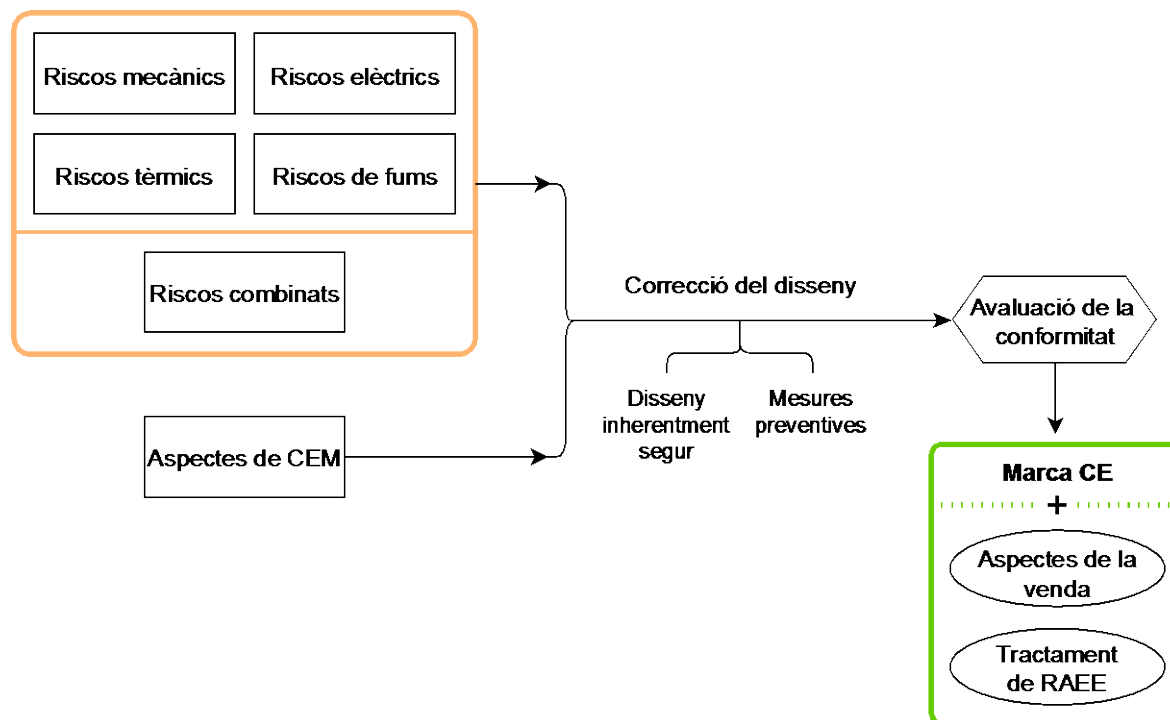


Fig. 18.1. Esquema dels canvis necessaris per a assolir el marcatge CE de la BCN3D+.

## 19. Desenvolupament del model BCN3D Sigma

Les conclusions obtingudes a partir de l'estudi del model BCN3D+ s'han utilitzat per al disseny d'un nou model, que ha demostrat que compleix satisfactòriament amb els requeriments exigits pel marcatge CE.

A primer cop d'ull, el canvis de disseny més destacables són la seva forma de capsa i la incorporació d'un segon extrusor. Aquest nou model ja no es distribueix en forma de lot d'auto muntatge, sinó en estat totalment assembletat i llest per a funcionar.

Manté la estructura essencial del model anterior, constituïda per tres eixos de moviment i càrrega del fil de plàstic per arrossegament.

Els següents apartats detallen els diferents aspectes de seguretat que el nou disseny soluciona, a partir de les conclusions obtingudes en el model anterior.

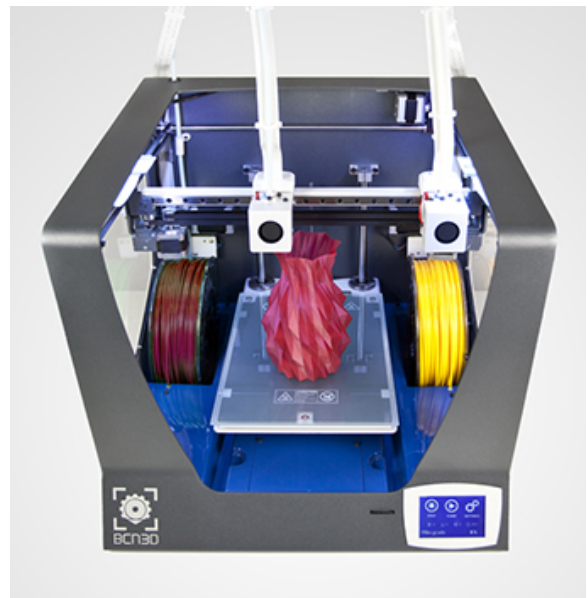
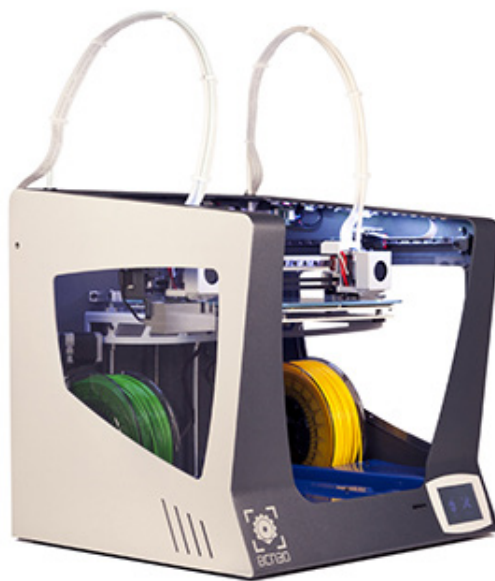


Fig. 19.1. Vistes de la impressora model BCN3D Sigma.

### 19.1.1. Aspectes de seguretat mecànica

A diferència del disseny anterior, la BCN3D Sigma es troba continguda dins una carcassa contenidora. Aquesta nova disposició millora la seguretat mecànica, ja que permet una millor protecció de l'usuari respecte dels elements de la màquina.

La carcassa però no és completament tancada, i es troba oberta en la part frontal. Això fa que encara segueixen presents els riscos d'accedir als elements extrusors i elements mòbils.

L'aparell segueix presentant un risc per a la salut d'intoxicació, causat per les emissions de les substàncies processades. Com s'ha comentat, això es deu a que l'aparell no presenta un disseny completament tancat, i per tant no incorpora mesures adequades per al tractament dels fums generats (mesures de contenció, filtratge i extracció, veure apartat 12. *Materials d'impressió*). Les mesures recomanades per a aquest risc residual segueix sent l'ús d'equips de protecció individual, com màscares de respiració, i espais de treball amb bona ventilació.

El sistema d'arrossegament del fil de plàstic, realitzat a través d'un cargol i engranatges s'ha ubicat a la paret vertical interior de l'aparell. Els engranatges es troben ocults, eliminant d'aquesta manera el risc d'aixafament amb els dits.

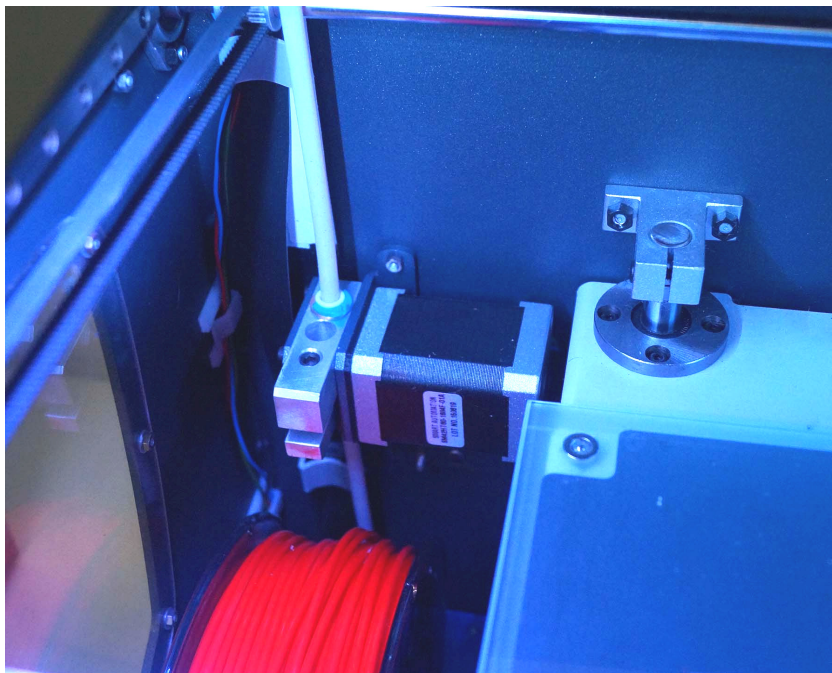


Fig. 19.2. Motor de l'extrusor a la paret interior de la màquina.



Els extrusors s'han protegit amb una envoltant de xapa metàl·lica, que redueix l'àrea de contacte amb parts calentes. D'aquesta manera es millora el risc de cremada, tot i que no s'elimina completament.

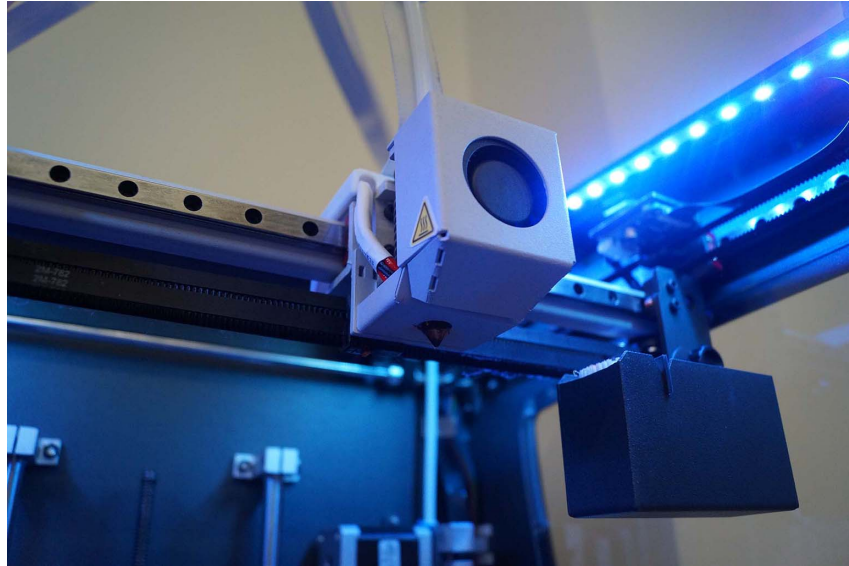


Fig. 19.3. Vista inferior de l'extrusor de la BCN3D Sigma.

També s'han incorporat dos dipòsits que netegen i recullen les despulles de plàstic dels extrusors, fet que millora les prestacions de l'aparell, i contribueix a evitar possibles accidents com a conseqüència d'una manipulació perillosa dels extrusors.

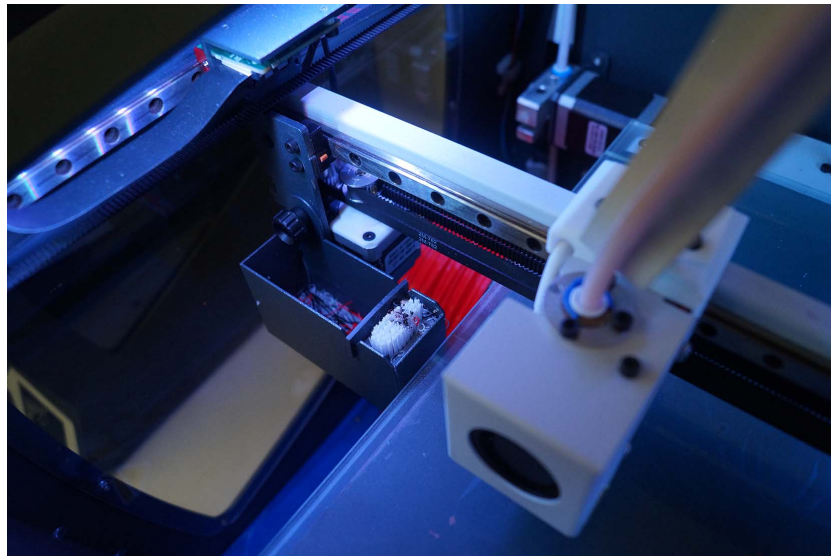


Fig. 19.4. Dipòsit de neteja a l'esquerra de l'extrusor.

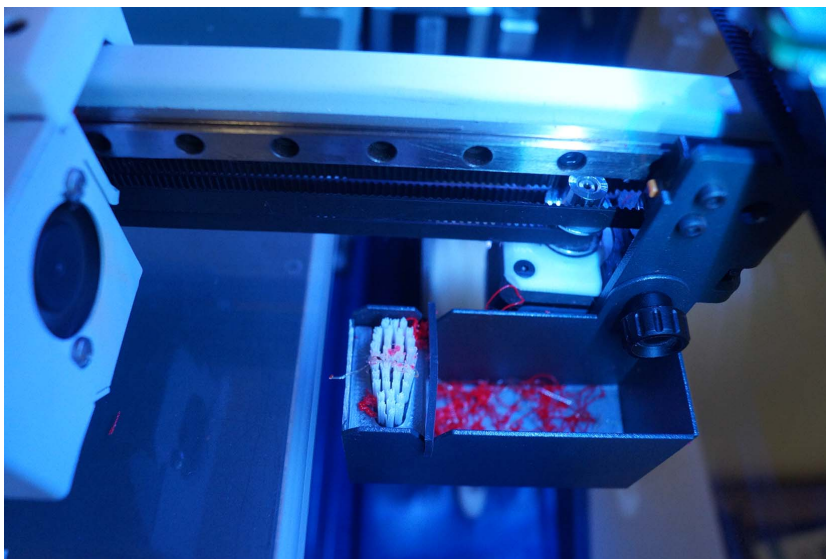


Fig. 19.5. Dipòsit de neteja a l'esquerra de l'extrusor.

La pantalla de control s'ha substituït per un model tàctil i en color, que permet visualitzar els arxius a imprimir. Té una placa electrònica incorporada, que gestiona de manera més eficient la navegació i càrrega dels arxius.



Fig. 19.6. Pantalla de la BCN3D Sigma.

L'aparell permet incorporar il·luminació de tecnologia LED, a través d'una connexió disponible per a tal propòsit al MCU, característica que incrementa l'ergonomia de l'aparell.

### 19.1.2. Aspectes de seguretat elèctrica

Com s'ha discutit a l'apartat 10. *Directiva de Baixa Tensió*, l'aspecte més crític en l'àmbit de la seguretat elèctrica és la protecció contra el xoc elèctric. Aquest es pot produir a través del contacte directe o indirecte de parts en tensió. El model BCN3D Sigma elimina aquests perills presents al model BCN3D+, a través d'un disseny inherentment segur, tal com recomana la norma **UNE-EN ISO 12100:2012. Seguridad de las máquinas. Principios generales para el diseño. Evaluación del riesgo y reducción del riesgo.**

En primer lloc, s'ha eliminat la possibilitat de contacte directe amb la font d'alimentació, i els seus borns de connexió amb la xarxa elèctrica. Això s'ha aconseguit bloquejant l'accés a la font, situant-la sota una superfície de protecció que cobreix tota la base interior de la màquina. La superfície és de material plàstic termoconformat, no permet la conductivitat elèctrica, i només es pot retirar en una operació de desmuntatge de la màquina.

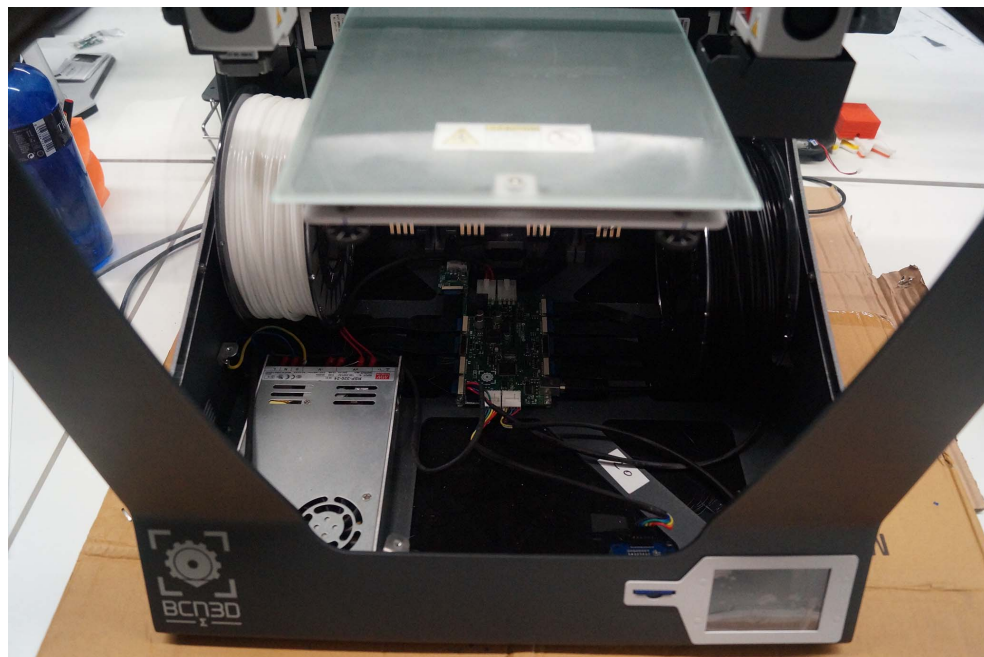


Fig. 19.7. BCN3D Sigma amb la base retirada.



Fig. 19.8. Base de la BCN3D Sigma.

Com la font es troba inaccessible, no s'ha considerat necessari utilitzar la proposta de l'apartat 11.4.2 *Font d'alimentació*, i s'ha optat per usar una font d'alimentació de la mateixa tipologia que la del model BCN3D+, això és, de tipus “caixa”.

D'altra banda, el nou disseny garanteix la seguretat elèctrica davant el perill de xoc elèctric. Per a aconseguir-ho, s'ha connectat elèctricament a terra a tots els elements conductors. La connexió s'ha implementat per contacte metàl·lic directe entre els components. La connexió final al terra de protecció (PE) s'ha realitzat a través del contacte amb la carcassa de la font d'alimentació.

S'ha canviat la tensió de treball del sistema de 12V a 24V. Això permet utilitzar components que treballen a freqüència més elevada, i que, per tant, són de dimensions més reduïdes. La seva eficiència és superior i la seva dissipació tèrmica menor. Com a conseqüència els ventiladors emprats en el model BCN3D+ ja no són necessaris. El canvi de tensió tampoc afecta a la condició de baixa tensió de treball del model anterior (ja que és menor que 50V), i per tant les consideracions de seguretat elèctrica no canvien.

S'ha canviat l'organització general del cablejat, en particular el que va unit a les parts mòbils. Això contribueix a la millora la seguretat elèctrica, ja que:

- Cap cable realitza esforços mecànics no previstos.



- S'ha eliminat la possibilitat que es produeixin atrapaments de cables entre les parts mòbils.
- No es produeixen augments de temperatura imprevistos.

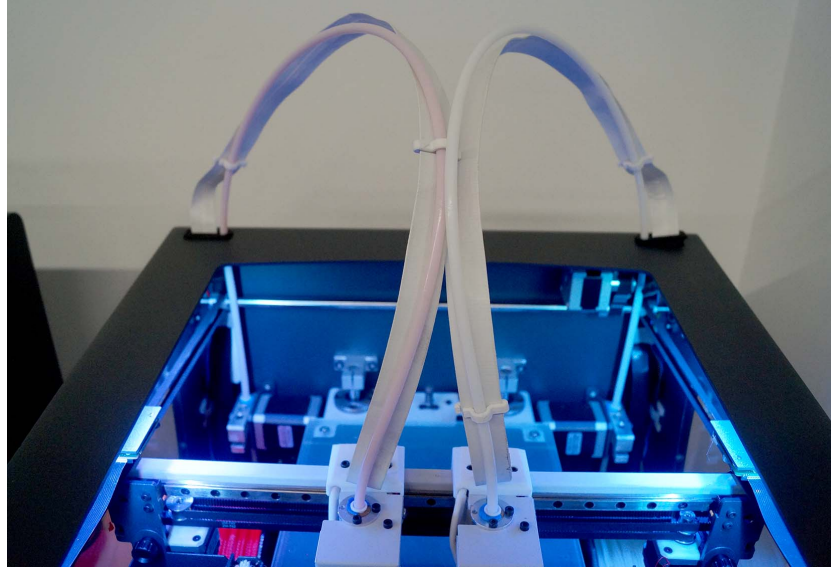


Fig. 19.9. Cablejat de les parts mòbils de la BCN3D Sigma (extrusors).

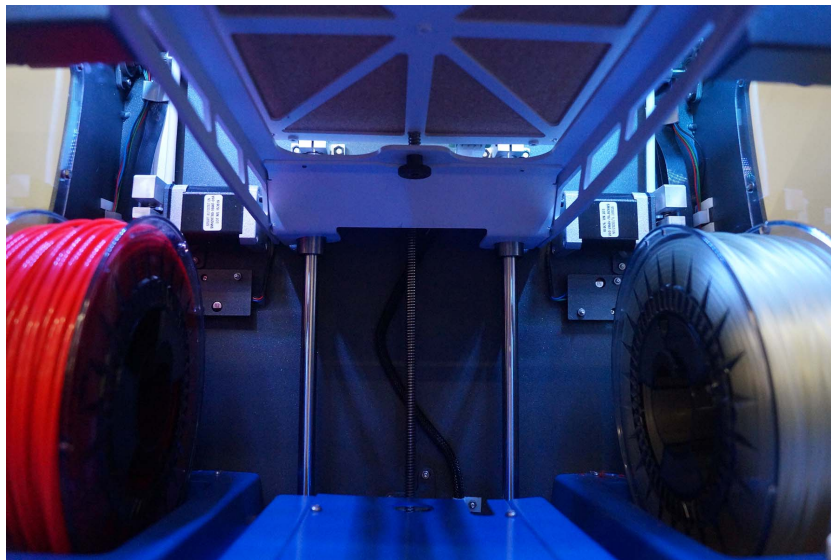


Fig. 19.10. Cablejat de les parts mòbils de la BCN3D Sigma (lilit calent).

### 19.1.3. Aspectes de CEM

Actualment el model Sigma ha superat totes les normatives de CEM acceptades per la **Directiva de Compatibilidad Electromagnética 2004/108/CE**:

- Emissions segons la norma **UNE-EN 55022:2011. Equipos de tecnología de la información. Características de las perturbaciones radioeléctricas. Límites y métodos de medida.**
- Immunitat segons la norma **UNE-EN 55024:2011.**

També s'han superat les proves requerides per la normativa nord americana, dictades per la Federal Communications Committee (FCC). Els requeriments d'aquesta normativa són similars als de la normativa europea, amb l'única diferència destacable essent els valors de l'alimentació. En el cas europeu, es tracta de 230V a 50Hz. En el cas nord americà, 120V a 60Hz.

Per a aconseguir superar satisfactòriament les proves de CEM, s'han aplicat les mesures generals descrites a l'apartat *11.4 Mesures per a assolir la conformitat de CEM*. En particular:

- Cables separats per famílies (cables de potència sense filtrar, cables de potència amb filtre, cables de control, cables de senyal).
- Els cables es troben en contacte amb elements de massa, fet que afavoreix la derivació de les EMI's.
- Es disposa d'un circuit equipotencial de massa que impedeix la generació de corrents pertorbadors entre elles. La connexió s'ha realitzat per contacte metàl·lic directe, i s'ha prescindit de la solució amb trenes o platines, descrita a l'apartat *11.2.1 Massa i cablejat*.
- Disseny d'una placa electrònica dedicada especialment per a l'aplicació.
- Filtratge de cada bloc funcional.

El nou disseny en forma cúbica limita el contacte directe amb els elements electrònics sensibles. D'aquesta manera es limita la possibilitat de descàrregues electrostàtiques perilloses. La forma cúbica també contribueix a limitar les perturbacions radiades emeses.

La **Directiva 2011/65/EU RoHS 2** es segueix complint, ja que tots els components de l'aparell són reglamentaris i no contenen les substàncies prohibides designades.

### ▪ Placa electrònica (PCB)

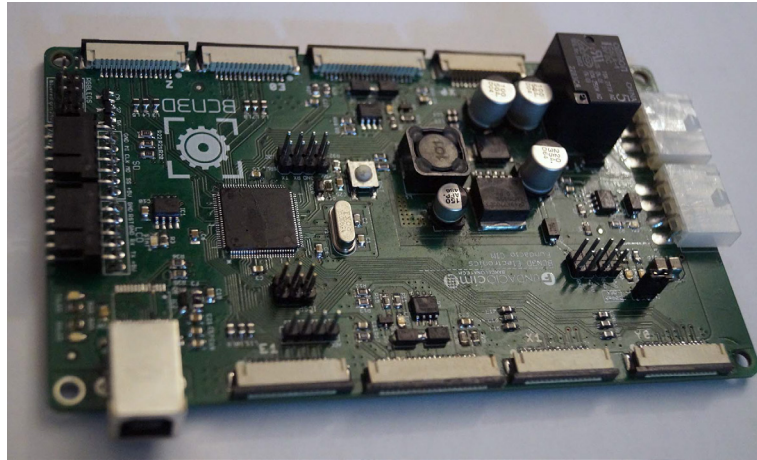


Fig. 19.11. Placa electrònica del model BCN3DSigma.

Per al nou model BCN3D Sigma s'ha optat per dissenyar una placa electrònica pròpia. Aquest nou disseny es basa en els esquemes de les plaques del model anterior (Arduino Mega 2560 i RAMPS1.4), però incorpora totes les millores fruit de l'experiència prèvia i de la informació obtinguda als assajos de laboratori. Algunes de les característiques generals són:

- S'ha implementat filtratge amb ferrites a la pròpia PCB.
- S'han eliminat les connexions per pius i els pius en desús. Això s'ha aconseguit substituint els components electrònics anteriors, de tecnologia de 'forats passants' (Through-Hole Technology), per d'altres de tecnologia de 'muntatge superficial' (Surface-Mount Technology). Aquesta nova tecnologia permet col·locar els components a la PCB sense necessitat de travessar-la amb pius, evitant així la creació d'antenes involuntàries.
- S'han incorporat dos fusibles de protecció. Un amb valor de tall de 500mA per a la connexió USB. L'altre de 12A per a la connexió de la placa amb la font.

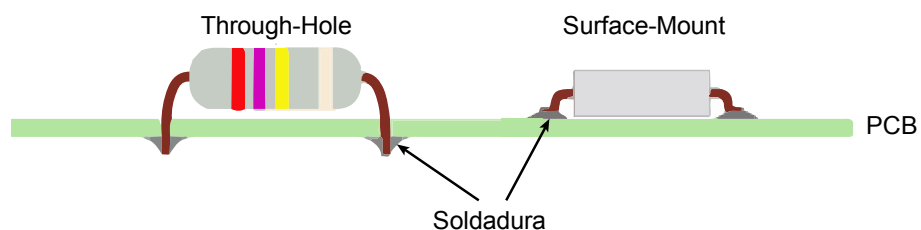


Fig. 19.12. Esquema de la tecnologia Through-Hole (esq.) i Surface-Mount (dreta).

La placa incorpora una font d'alimentació pròpia. Això permet convertir el corrent CC de 24V que proporciona la font principal als 5V necessaris per a alimentar tots els components electrònics. Aquest mòdul es troba aïllat per un pla de massa i filtres, que tracten les EMI que es generen durant la seva operació normal.

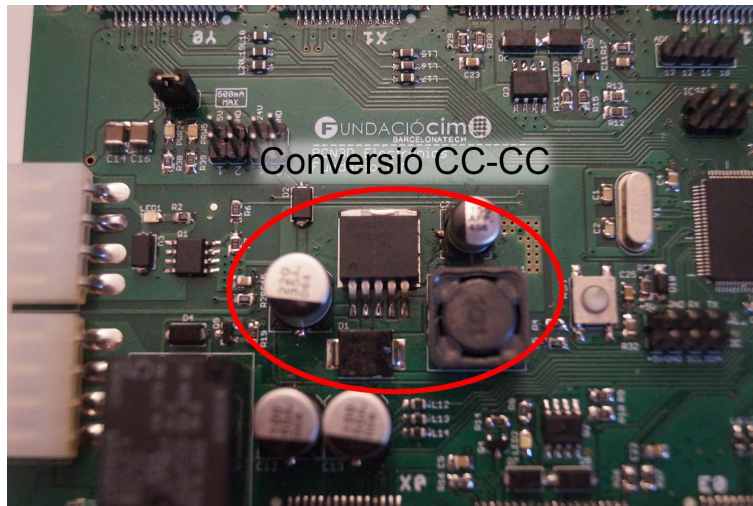


Fig. 19.13. Mòdul de conversió de tensió CC-CC.

Per a fer front a les pertorbacions generades per l'oscil·lador del MCU, s'han implementat diverses mesures, com:

- Col·locar l'oscil·lador molt a prop del MCU, en una orientació òptima.
- Aïllar l'oscil·lador amb un pla de terra, deixant un únic punt de connexió amb el circuit exterior. Això dificulta la distribució de les EMI cap a la resta del circuit, afavorint que es quedin dins l'àrea designada per a l'oscil·lador.

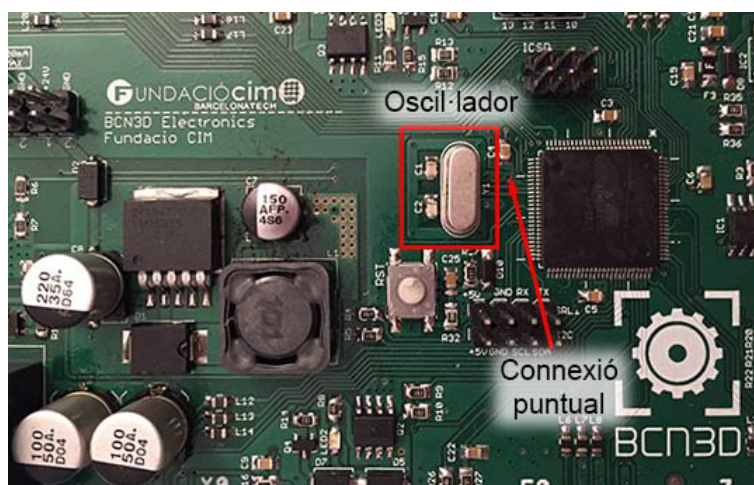


Fig. 19.14. Component oscil·lador de la PCB, amb el punt únic de connexió indicat.



S'ha incorporat un component de relé seccionador de corrent a la PCB. La seva finalitat es poder desconectar l'alimentació de l'aparell un cop ha finalitzat una operació normal d'impressió. Això és d'especial interès si la màquina està treballant sense supervisió de l'usuari, ja que d'aquesta manera es contribueix a eliminar perills com la destrucció o incendi de components.

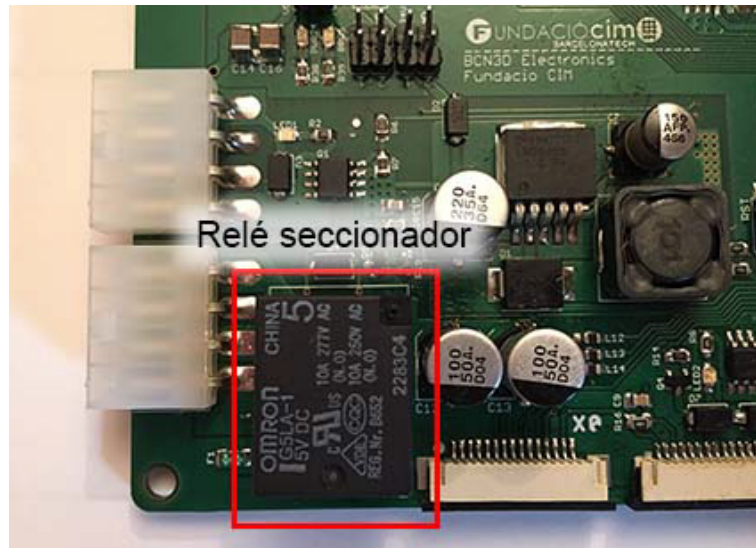


Fig. 19.15. Relé de seccionament de l'alimentació de la PCB.

- **Motors de pas a pas**

Els motors de pas a pas del model BCN3D+ també constitueixen una gran font d'EMIS. En el nou model, els controladors s'han situat a prop dels motors, eliminant així el tram de cablejat per on circulen les pertorbacions.

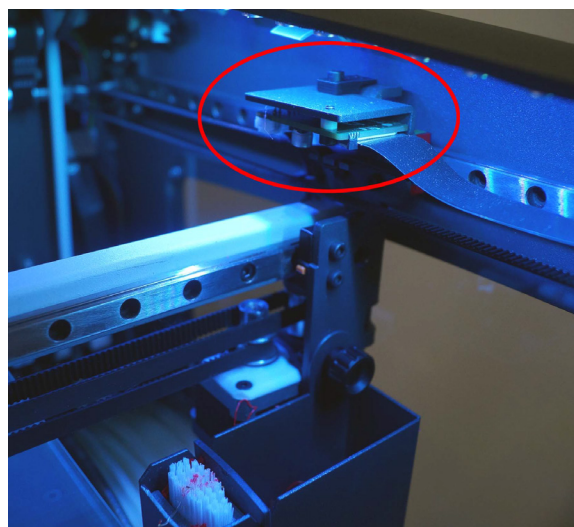


Fig. 19.16. Circuit controlador dels motors dels eixos X.

### ▪ Gràfiques de laboratori

Les gràfiques obtingudes als assajos evidencien la conformitat de l'aparell davant els requeriments d'emissions i immunitat de les normes europees. Les figures a continuació en mostren una selecció representativa, en diferents orientacions i operacions de la màquina.

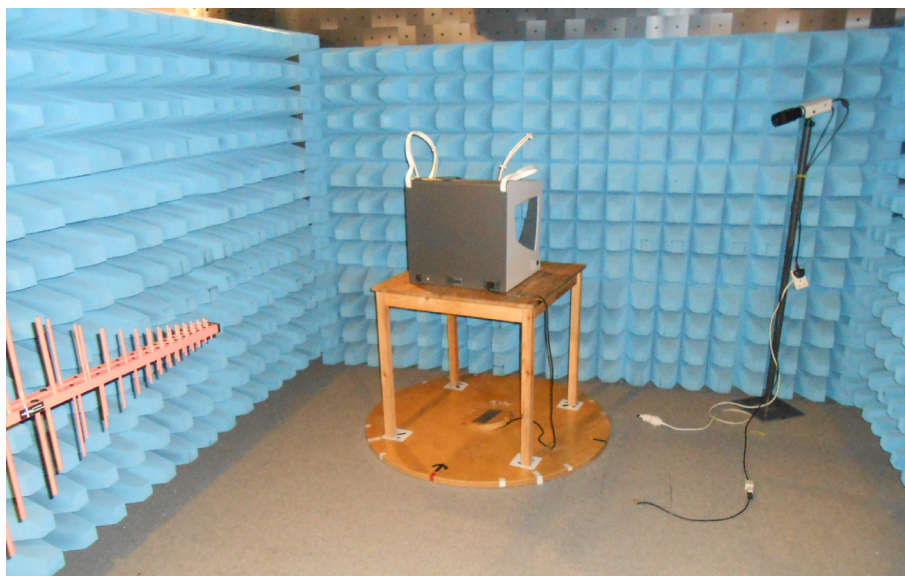


Fig. 19.17. BCN3D Sigma al laboratori de proves.

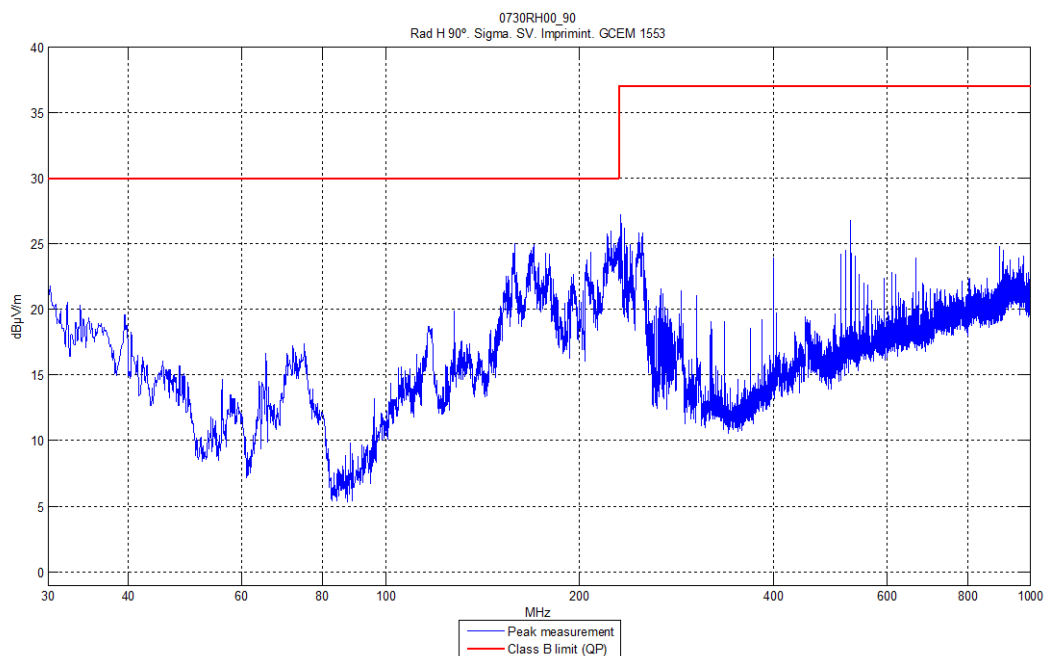


Fig. 19.18. Gràfica d'emissions radiades.

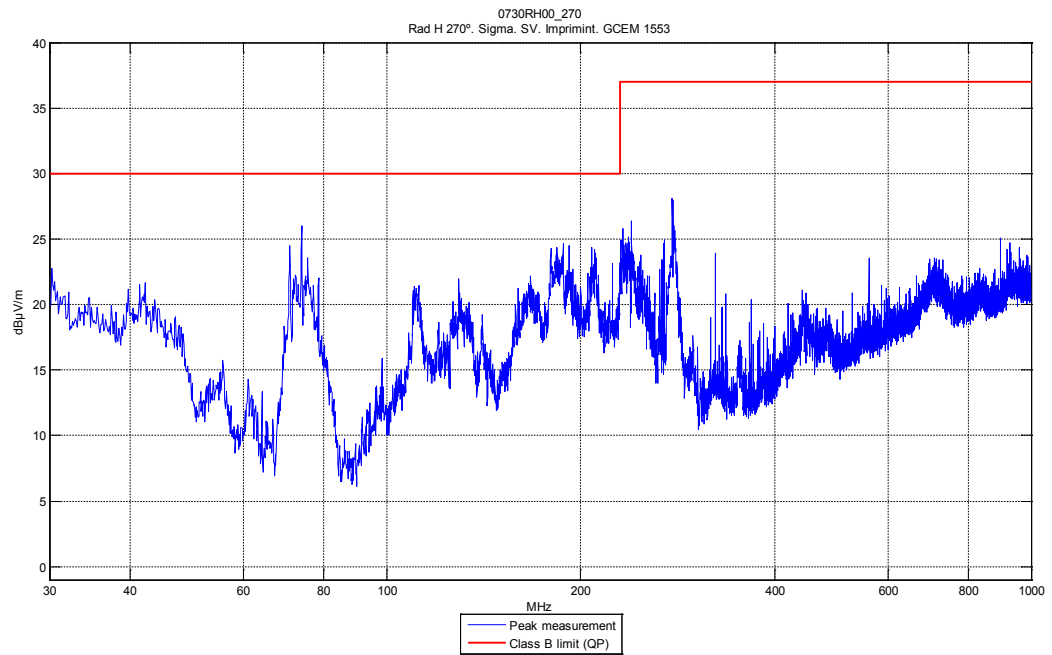


Fig. 19.19. Gràfica d'emissions radiades.

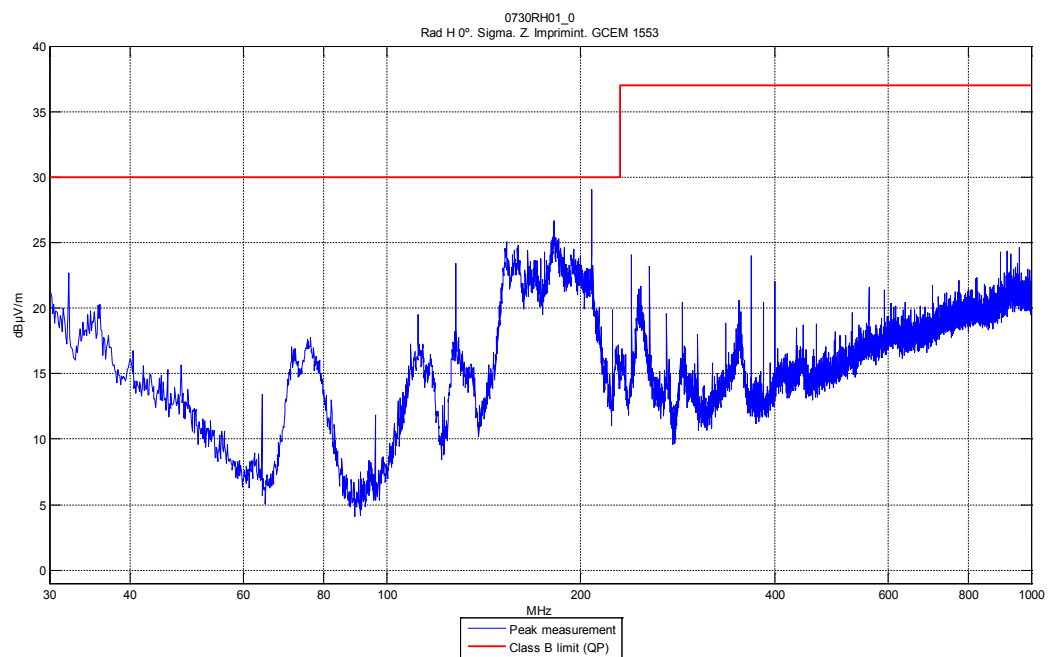


Fig. 19.20. Gràfica d'emissions radiades.

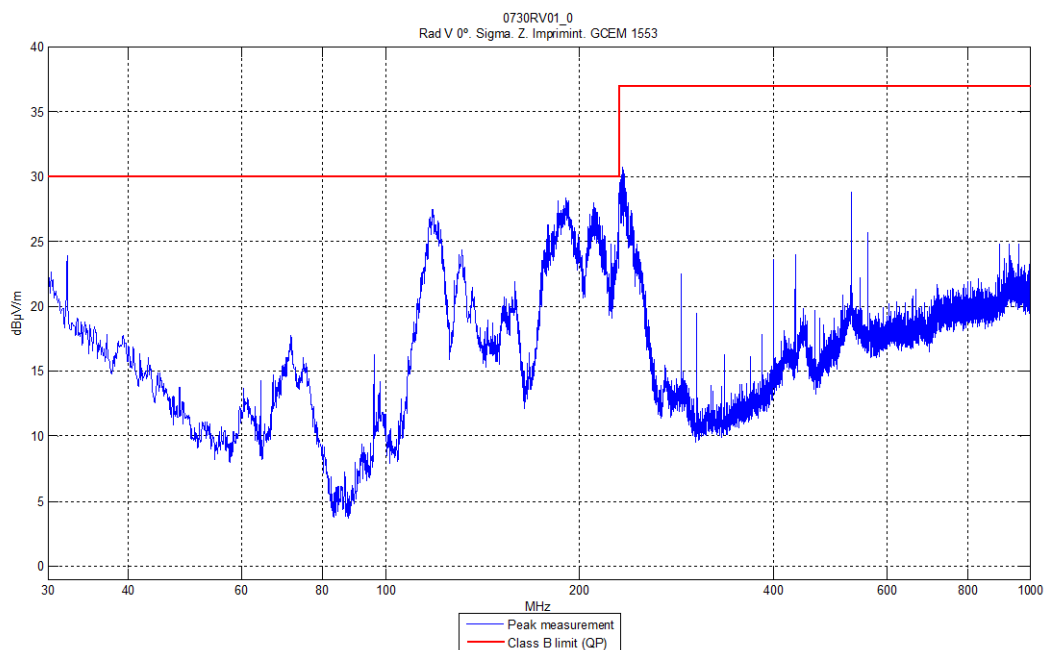


Fig. 19.21. Gràfica d'emissions radiades.

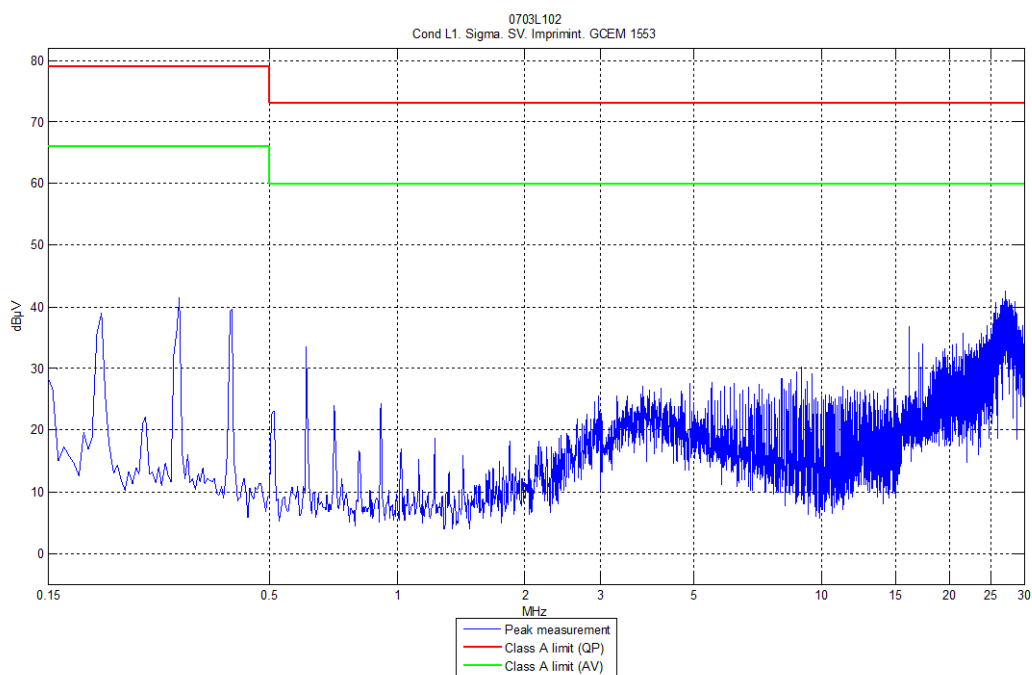


Fig. 19.22. Gràfica d'emissions conduïdes.

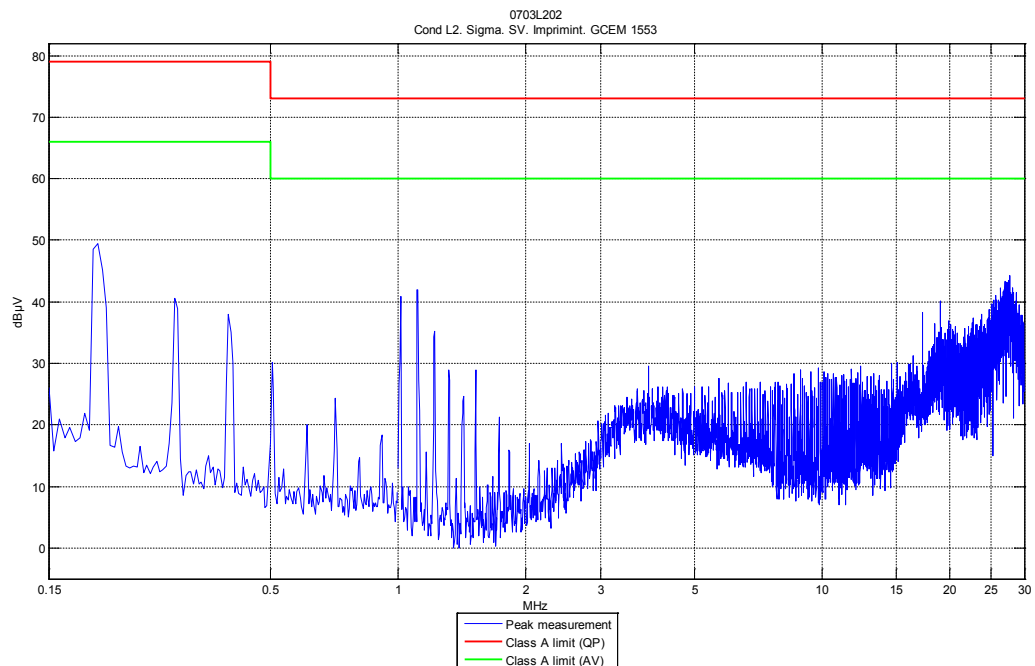


Fig. 19.23. Gràfica d'emissions conduïdes.

#### 19.1.4. Identificació de perills

Tal com s'ha descrit, el nou model BCN3D Sigma elimina alguns dels perills presents al disseny de la BCN3D+. A continuació es realitza la identificació de perills global a totes les fases del cicle de vida del producte:

- 1) Fase: Transport. No es detecten perills.
- 2) Fase: Muntatge i instal·lació. No es requereix muntatge.
- 3) Fase: Posada en servei. Cap perill específic respecte els perills de la fase de funcionament.
- 4) Fase: Funcionament.
  - Parts mòbils. Atrapament dels dits entre el carro de l'extrusor i els perfils estructurals (Fig. 19.24).
  - Parts mòbils. Esgotament i/o estrès causat pel soroll dels elements mòbils.
  - Parts calentes. Contacte de les extremitats superiors amb l'extrusor (Fig. 19.25).
  - Parts calentes. Contacte de les extremitats superiors amb el llit calent.
  - Parts calentes. Perill d'incendi d'elements externs i interns a l'aparell.

- Perill degut a les substàncies. Emissió de fums tòxics. Exposició a substàncies i partícules emeses a l'aire, amb efectes sobre l'organisme de diversa gravetat
  - Combinació de perills. Enganxament de la roba a algun element mòbil, bloqueig del moviment i cremada de les extremitats superiors amb els elements calents (Fig. 19.26).
- 5) Fase: Manteniment. No es detecten perills.
- 6) Fase: Desmuntatge i retirada. El desmuntatge només el pot realitzar personal especialitzat.

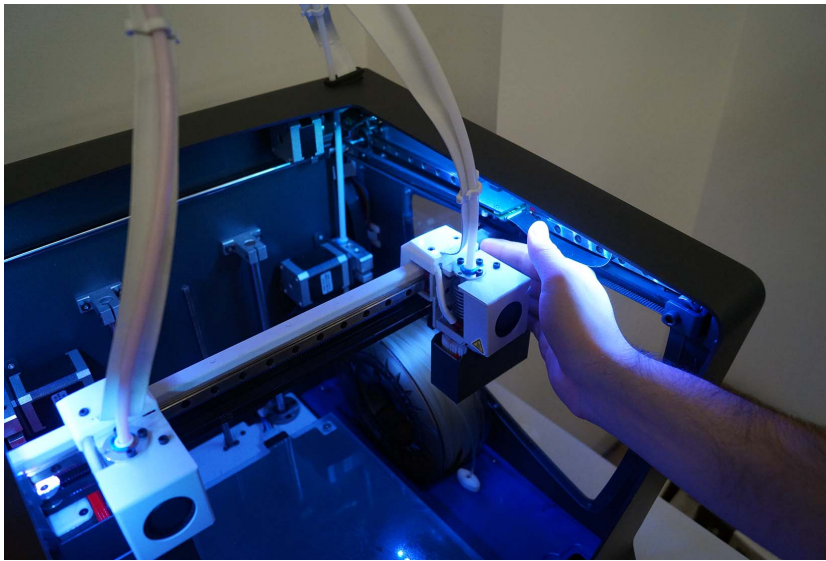


Fig. 19.24. Vista del perill.

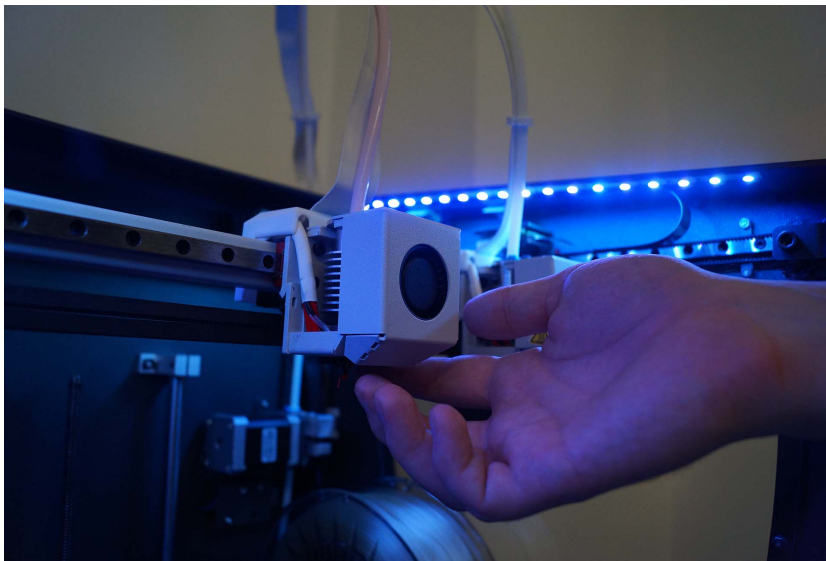


Fig. 19.25. Vista del perill.



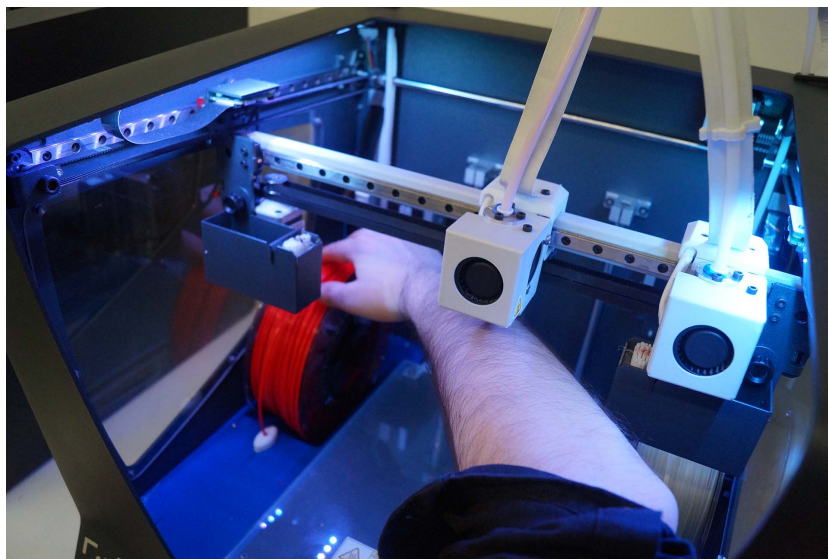


Fig. 19.26. Vista del perill.

### 19.1.5. Avaluació de Riscos

A continuació es mostra la taula de l'Informe Tècnic **ISO/TR 14121-2:2012** per a l'estimació del Risc de la BCN3D Sigma, que complementa la norma **UNE-EN ISO 12100:2012. Seguridad de las máquinas. Principios generales para el diseño. Evaluación del riesgo y reducción del riesgo.**

Es pot observar que tots els perills presents a l'aparell tenen un índex numèric de tipus residual. Els resultats per tant permeten afirmar que l'aparell es troba en condicions d'ostentar el marcatge CE de productes.

Perill : Conseqüència	Elements del Risc	Índex	Valoració
<b>Perills Mecànics</b>			
1. Parts mòbils: Atrapament dels dits entre el carro de l'extrusor i els perfils estructurals.	S:1 F:2 O:1 A:1	1	Assumible
<b>Perills Elèctrics</b>			
---	---	---	---
<b>Perills Tèrmics</b>			

2. Parts calentes: Contacte de les extremitats superiors amb l'extrusor.	S:1 F:2 O:2 A:1	1	Assumible
3. Parts calentes: Contacte de les extremitats superiors amb el llit calent.	S:1 F:2 O:3 A:1	2	Assumible
4. Parts calentes: Perill d'incendi d'elements externs i interns a l'aparell.	S:1 F:2 O:1 A:1	1	Assumible
<b>Perills deguts a les substàncies</b>			
5. Emissió de fums tòxics: Exposició a substàncies i partícules emeses a l'aire, amb efectes sobre l'organisme de diversa gravetat.	S:1 F:2 O:1 A:1	1	Assumible
<b>Perills deguts al soroll (*)</b>			
6. Elements mòbils: Esgotament i/o estrès causat pel soroll dels elements mòbils.	S:1 F:2 O:1 A:1	1	Assumible
<b>Combinació de perills</b>			
7. Enganxament de la roba a algun element mòbil, bloqueig del moviment i cremada de les extremitats superiors amb els elements calents.	S:1 F:2 O:2 A:1	1	Assumible

Fig. 19.27. Taula d'Avaluació del risc per a la BCN3D Sigma.

La indicació (\*) senyala que els riscos causats pel soroll no es poden valorar amb aquest mètode d'estimació de riscos. No obstant, es manté la valoració realitzada de risc assumible. Es recomana l'ús de cascos de protecció personal en cas de fatiga.

### 19.1.6. Informació a l'usuari

Les mesures preventives de senyalització descrites a l'apartat 15. *Informació a l'usuari* també s'apliquen a la BCN3D Sigma. Aquestes es col·loquen sobre les parts calentes i parts mòbils de l'aparell. En conjunció amb la senyalització, cal elaborar un manual d'instruccions per al consumidor, on res remarqui el funcionament previst i no previst per a l'aparell. Com s'ha comentat per al model BCN3D+, el manual d'instruccions és una de les eines més importants per a prevenir l'usuari de qualsevol perill.



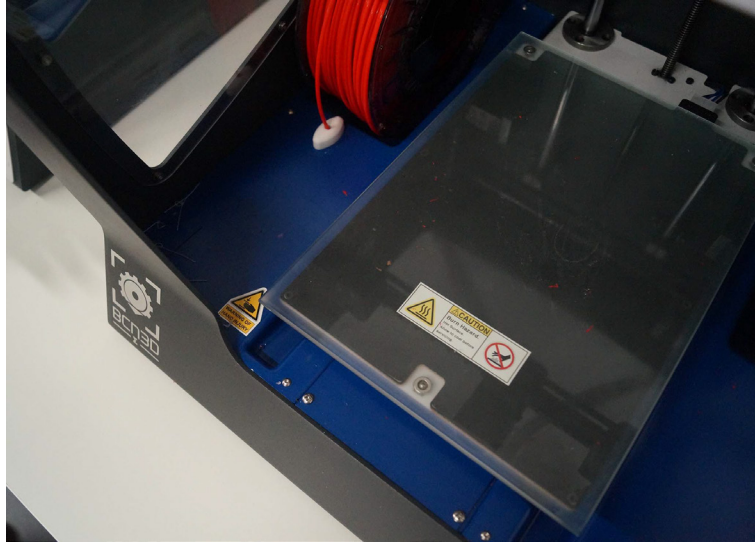


Fig. 19.28. Senyals d'advertència sobre el llit calent i la base.

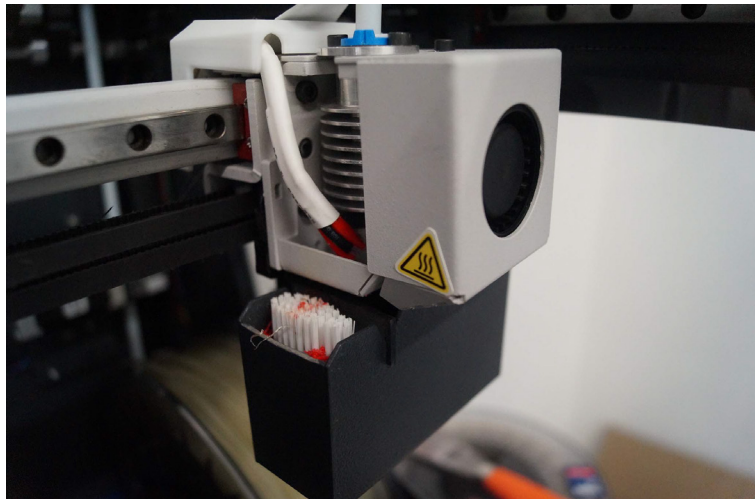


Fig. 19.29. Senyals d'advertència sobre l'extrusor.

### 19.1.7. Marcatge CE

Un cop queda provat que el nou aparell compleix amb els requisits exigibles pel mercat europeu, es pot procedir a realitzar el seu marcatge. La placa de característiques CE no varia respecte la del model anterior:



Fig. 19.30. Placa de característiques CE per al model BCN3D Sigma (esq.). Placa col·locada a l'aparell (dreta).

Adicionalment al marcatge, s'hauran d'elaborar tres documents addicionals, tal com s'ha descrit a l'apartat 16. *Marcatge CE*:

- La Declaració de Conformitat, que s'ha d'entregar també a l'usuari, on consten els requeriments essencials satisfets de les Directives que li són aplicables.
- L'Expedient Tècnic, que inclou la informació de disseny (plànols de muntatge, esquema elèctric, esquema electrònic, resultats de proves de laboratori). Aquest s'haurà de dipositar a la Direcció del fabricant a disposició de les autoritats.

El model de Declaració de Conformitat per a la BCN3D Sigma es pot consultar a l'*Annex B*.

### 19.1.8. Altres aspectes

Són aplicables són els mateixos aspectes de l'apartat 17. *Altres aspectes* desenvolupats per al model BCN3D+:

- El producte està cobert per una garantia de 2 anys sobre qualsevol defecte de fabrica, tal com indica la **Ley 23/2003 de Garantías de venta**, que transposa a la legislació espanyola la **Directiva 1999/44/CE sobre determinados aspectos de la venta y las garantías de los bienes de consumo**.

- S'apliquen les mateixes llicències d'ús de codi obert/lliure descrites per al model BCN3D+: GNU General Public License v3 i/o CC BY-SA 3.0.
- El fabricant ha de disposar les mesures adequades per a permetre el reciclatge de l'aparell, tal com indica la **Directiva 2012/19/UE de RAEE**.

## 20. Estudi de la viabilitat del projecte

El següent apartat presenta un estudi econòmic i un estudi mediambientals del projecte.

### 20.1. Estudi econòmic

El projecte consisteix en una inversió, que es preveu repercutirà positivament en les vendes de l'aparell. El cost econòmic del projecte d'adaptació al marcatge CE de la BCN3D+ es desglossa en:

- Costos d'adquisició de documents normatius
- Costos de realització de proves de laboratori
- Salariis vinculats al personal encarregat d'implementar el projecte

Actualment, el preu de venda de la BCN3D+ és de 740€. La implementació del projecte fa que aquest preu es vegi incrementat, principalment com a conseqüència de la millora de la qualitat dels seus components, així com de les hores necessàries per al seu assemblatge. Així doncs, el preu de la BCN3D Sigma és actualment de 1795€.

D'altra banda, disposar del marcatge CE, a més de ser un requeriment legal del mercat europeu, té una repercussió directa sobre la qualitat final del producte. Això permet que aquest es pugui obrir a un mercat potencial més ampli. En particular, es preveu que la BCN3D Sigma esdevingui d'interès no només per al públic general i afeccionat, sinó també per als consumidors amb coneixements tècnics avançats i/o les empreses. D'aquesta manera la inversió queda justificada, ja que es preveu que l'increment del preu del producte no afectarà significativament al nivell de vendes.

Les figures a continuació mostren els diferents grups de costos d'implementació. En aquests costos no s'inclouen els costos de fabricació de cada unitat del nou model d'aparell:

#### Documents normatius

Text	[€]
UNE-EN ISO 12100:2012	81,87
EN ISO 7010:2012	149,39
EN ISO 7010:2012/A1:2014	58,25
EN ISO 7010:2012/A2:2014	58,25
EN ISO 7010:2012/A3:2014	43,53
EN ISO 7010:2012/A4:2014	87,06
EN ISO 7010:2012/A5:2015	57,19

UNE-EN ISO 13732-1:2008	57,31
UNE-EN 60204-1:2007	100,97
UNE-EN 60204-1:2007/A1:2009	21,83
UNE-EN 55024:2011	56,22
UNE-EN 55024:2011/A1:2015	27,98
UNE-EN 55022:2011	80,5
<b>Total</b>	<b>880,35</b>

Fig. 20.1. Costos deguts a l'adquisició de documents tècnics.

**Desenvolupament**

Activitat	€/hora	Hores	Cost [€]
Estudi de directives	20	16	320
Estudi i implantació de normes	20	120	2.400
Elaboració de documents tècnics	20	24	480
<b>Total</b>			<b>3.200</b>

Fig. 20.2. Costos de desenvolupament.

**Assajos de laboratori**

Tipus	€/hora	Hores	Cost [€]
Assajos CEM i Seguretat elèctrica	125	4	500
Assajos de nivell acústic	100	1	100
<b>Total</b>			<b>600</b>

Fig. 20.3. Costos dels assajos de laboratori.

Sumant els tres totals s'obté un cost total d'inversió de 4680,35€. A continuació es fa una estimació de les vendes. La figura 20.4 mostra les vendes anuals d'aparells sense el marcatge CE (vendes del model BCN3D+ actual). La figura 20.5 mostra les vendes d'aparells un cop es disposa d'un nou model amb marcatge CE (model BCN3D Sigma), durant un període de tres anys des de la implementació del projecte. La diferència d'ingressos entre ambdós situacions representa el guany aportat pel projecte. Es preveu una davallada en les vendes d'aparells sense marcatge CE (BCN3D+) i un increment gradual d'aquells amb marcatge CE (BCN3D Sigma).

S'ha fixat un període de 3 anys perquè es considera el temps de vida mínim atribuïble a la tecnologia i funcionalitats de l'aparell. A partir d'aquest temps es possible que es vulguin generar nous models, amb noves característiques que els facin més competitius respecte altres actors del mercat.

**Vendes**

Model	unitats/mes	preu/unitat	Ingrés [€]	Anual [€]
BCN3D+	15	740	111.00	133.200

Fig. 20.4. Vendes d'aparells sense marcatge CE (anuals).

**Vendes**

Model	unitats/mes	preu/unitat	Ingrés [€]	Anual [€]	
BCN3D+	15	740	111.00	133.200	Any 1
BCN3D Sigma	2	1.795	3.590	43.080	
<b>Total Any 1</b>				<b>176.280</b>	
	12	740	8.880	106.560	Any 2
	5	1.795	8.975	107.700	
<b>Total Any 2</b>				<b>214.260</b>	
	5	740	3.700	44.400	Any 3
	10	1.795	17.950	215.400	
<b>Total Any 3</b>				<b>259.800</b>	

Fig. 20.5. Vendes d'aparells amb i sense marcatge CE durant el període de 3 anys.

Guany aportat pel projecte Any 1	$176.280 - 133.200 = \mathbf{43.080 \text{ €}}$
Guany aportat pel projecte Any 2	$214.260 - 133.200 = \mathbf{81.060 \text{ €}}$
Guany aportat pel projecte Any 3	$259.800 - 133.200 = \mathbf{126.600 \text{ €}}$

Fig. 20.6. Guany aportat per la implementació del projecte respecte la no implementació.

A continuació es mostra la previsió econòmica en el període esmentat de 3 anys. Es calculen els fluxos de caixa (CashFlow). Per al càlcul dels valors de CashFlow actualitzats, es suposa un valor d'interès elevat, del 10%. Amb aquest valor es realitza una previsió conservadora del guany, que reflexa un mercat canviant com és el de la impressió 3D.

		Despeses	Ingressos
<i>Inversió en el projecte</i>	Any 0	4680,35	0
	Any 1	0	43.080
	Any 2	0	81.060
	Any 3	0	126.600

Fig. 20.7. Taula de despeses i ingressos en el període de 3 anys.

	Total CashFlow	Total CashFlow acumulat	CashFlow actualitzat	CashFlow actualitzat acumulat
<b>Any 0</b>	-4.680,35	-4.680,35	-4.680,35	-4.680,35
<b>Any 1</b>	43.080	38.399,65	39.163,6364	34.483,28636
<b>Any 2</b>	81.060	119.459,65	66.991,7355	101.475,0219
<b>Any 3</b>	126.600	246.059,65	95.116,4538	196.591,4757

Fig. 20.8. CashFlow durant el període de 3 anys.

El valor de Valor Actual Net (VAN) obtingut és de 196.591,48 €. Aquest és el benefici previst obtingut com a conseqüència de la realització del projecte, assumint un interès del 10%:

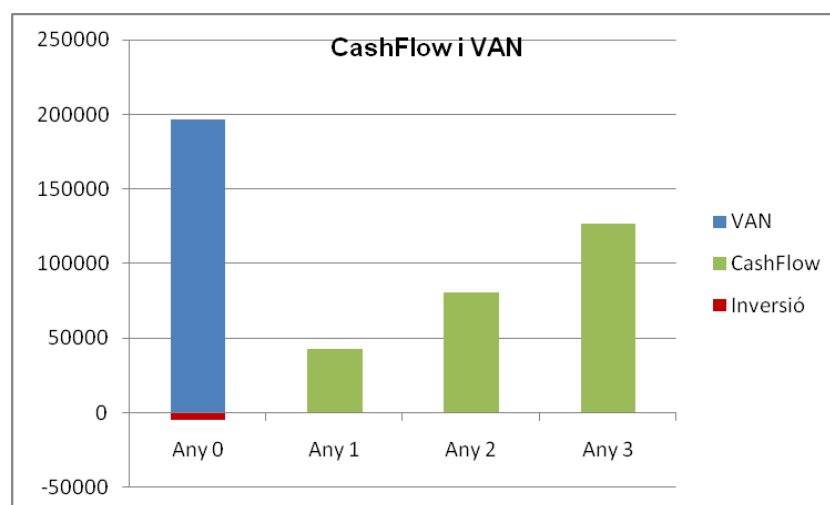


Fig. 20.9. CashFlow i VAN durant els tres períodes.

La següent figura mostra com el payback o recuperació de la inversió es produeix a partir del primer any:

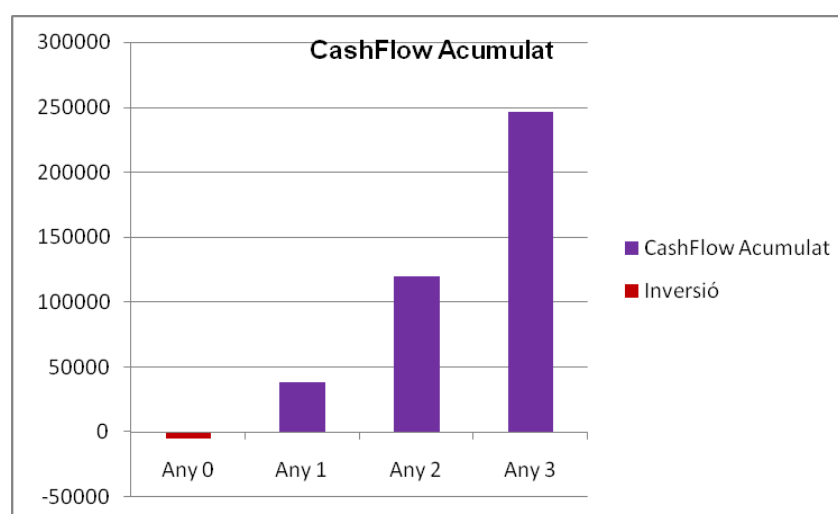


Fig. 20.10. CashFlow acumulat.

A la llum d'aquesta previsió, el projecte és viable i la inversió en la adaptació al marcatge CE queda justificada.

## 20.2. Estudi d'Impacte Ambiental (EIA)

Un aparell com la BCN3D+/BCN3D Sigma es compon de diferents materials que tenen un impacte divers sobre el medi ambient i la salut de les persones. Les seves característiques el fan similar a d'altres aparells i màquines-eina domèstiques.

La BCN3D+ i la BCN3D Sigma funcionen gràcies a l'energia elèctrica, proporcionada per la font d'alimentació a través de la xarxa elèctrica. L'ús dels aparells no és intensiu, i el seu consum és comparable al de qualsevol electrodomèstic d'ús domèstic, per tant es pot afirmar que no presenta un impacte mediambiental rellevant. El consum elèctric es realitza a partir de components estàndard, i per tant es compleixen totes les normatives exigibles.

Tal com s'ha indicat a l'apartat 12. *Materials d'impressió*, els models BCN3D+ i BCN3D Sigma produeixen contaminants cap a l'atmosfera en forma de fums i partícules, com a conseqüència de l'escalfament de materials plàstics industrials com el PLA i el ABS. La concentració real alliberada d'ambdós components no es coneix amb precisió, tot i que l'experiència preveu uns valors molt reduïts. Així doncs, es possible afirmar que l'impacte atmosfèric és baix, i els efectes sobre la salut negligibles, donades unes condicions d'ús com les previstes. No obstant, tal i com s'ha descrit al mateix apartat 12, tot fabricant ha de garantir la plena seguretat dels seus productes, i es recomana l'encapsulat de l'aparell per tal de no alliberar cap substància a l'atmosfera i poder aplicar-hi un tractament.

L'impacte acústic d'ambdós aparells es preveu d'un nivell baix (50 dB), sense que arribi a generar problemes d'ergonomia en el seu ambient d'ús. No obstant, cal realitzar una prova de laboratori específica per determinar els nivells de pressió acústica exactes, fet que no ha sigut possible en la realització del present projecte.

Respecte l'impacte lumínic, la BCN3D Sigma disposa d'il·luminació de tecnologia led. La seva funció és aportar ergonomia a l'espai de treball. Aquesta il·luminació és de color clar i d'intensitat moderada, i es pot desconnectar en cas de no ser necessària. Així doncs, no es considera que tingui una repercussió mediambiental destacable.

Quant l'aparell arriba a la fi de la seva vida útil, els seus elements poden ser reciclats o reutilitzats en altres projectes, de manera que el seu impacte mediambiental és molt reduït. Concretament, la majoria d'elements estructurals de la BCN3D+ són metàl·lics i es poden



reciclar en plantes especialitzades. Els elements de plàstic termoconformat presents a la BCN3D Sigma presenten bones propietats de reciclatge.

Addicionalment, els aparells BCN3D+ i BCN3D Sigma contenen elements elèctrics i electrònics, que poden contenir substàncies tòxiques i tenir un impacte molt negatiu sobre el medi ambient. Per fer front a aquest problema, tal i com s'estipula a l'apartat 14. *Aspectes mediambientals*, es segueixen els principis de la **Directiva RoHS 2011/65/UE**. Aquesta obliga a que l'aparell es composi de components estàndard, que no contenen substàncies d'especial toxicitat, i per tant els seus residus tenen un impacte acotat dins els límits establerts per la llei. No obstant això, aquest residus cal tractar-los en estacions especialitzades, un cop finalitzada la vida útil del producte, tal com indica la **Directiva RAEE 2012/19/UE**. El reciclatge d'aquest tipus de materials és particularment eficient i limita de manera considerable l'impacte negatiu sobre el medi ambient i sobre l'economia de les societats, especialment a zones amb nivells alts de pobresa.

Alguns components, com la font d'alimentació i el MCU es poden reutilitzar en d'altres aplicacions, i per tant posseeixen un cicle de vida més enllà del cicle de vida de l'aparell d'impressió.

## 21. Agraïments

En primer lloc, agraeixo a la Fundació CIM i el personal de BCN3DTechnologies, per haver-me donat la possibilitat de desenvolupar un projecte de perfil tan marcadament pràctic. Aquesta experiència no l'hagués pogut adquirir d'una altra manera.

També voldria agrair a totes aquelles persones que han contribuït amb la seva experiència, la seva opinió i la seva curiositat, a esclarir i aprofundir en cadascun dels aspectes tècnics que s'han plantejat. Sense el seu consell pràctic no hagués sigut possible finalitzar un projecte d'aquestes característiques.

Per últim, agraeixo a totes les persones que, de manera més personal, m'han fet costat durant el temps d'elaboració del present treball: els meus pares, el meu germà, la meua parella i amics.

## 22. Bibliografia

### 22.1. Referències bibliogràfiques

- [1] ASTM. *Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies*. Març de 2012.  
[[http://www.astm.org/FULL\\_TEXT/F2792/HTML/F2792.htm](http://www.astm.org/FULL_TEXT/F2792/HTML/F2792.htm), 30 d'octubre de 2014].
- [2] SUPPORT ACTION FOR STANDARDISATION IN ADDITIVE. *Additive Manufacturing: SASAM Standardisation Roadmap 2014*. 2014.  
[<http://cordis.europa.eu/docs/results/319167/periodic1-sasam-standardisation-roadmap-open-febr-2014.pdf>, 10 de gener de 2015].
- [3] FABBALOO. *Gartner's 2015 Predictions on 3D Printing*. Agost de 2015.  
[<http://www.fabbaloo.com/blog/2015/8/19/gartners-2015-predictions-on-3d-printing>, 22 d'agost de 2015].
- [4] IDTECHEX. *Applications of 3d Printing – a \$7bn market by 2025*. 2014.  
[<http://www.idtechex.com/research/articles/applications-of-3d-printing-a-7bn-market-by-2025-00006565.asp>, 1 d'agost de 2015].
- [5] EUROPEAN COMMISSION. *Additive Manufacturing in FP7 and Horizon 2020. Report from the EC Workshop on Additive Manufacturing held on 18 June 2014*. Juny 2014.  
[<http://www.rm-platform.com/linkdoc/EC%20AM%20Workshop%20Report%202014.pdf>, 29 de maig de 2014]
- [6] PLATFORM INDUSTRIE 4.0. *Final Report of the Industrie 4.0 Working Group*. Abril de 2013.  
[[http://www.acatech.de/fileadmin/user\\_upload/Baumstruktur\\_nach\\_Website/Acatech/root/de/Material\\_fuer\\_Sonderseiten/Industrie\\_4.0/Final\\_report\\_\\_Industrie\\_4.0\\_accessible.pdf](http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Material_fuer_Sonderseiten/Industrie_4.0/Final_report__Industrie_4.0_accessible.pdf), 10 d'agost de 2015].

- [7] 3DPRINTINGINDUSTRY.COM. *3d printing processes: The free beginner's guide*. Maig de 2014.

[<http://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide/processes/>, 21 de setembre de 2014]

- [8] UNIÓN EUROPEA. REQUISITOS DE LOS PRODUCTOS. *La normalización en Europa*. Juliol de 2015.

[[http://europa.eu/youreurope/business/product/standardisation-in-europe/index\\_es.htm](http://europa.eu/youreurope/business/product/standardisation-in-europe/index_es.htm), 15 de setembre de 2014].

- [9] EUROPEAN COMMISSION. GROWTH. SINGLE MARKET. EUROPEAN STANDARDS. *Key players*. Setembre de 2015.

[[http://ec.europa.eu/growth/single-market/european-standards/key-players/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/growth/single-market/european-standards/key-players/index_en.htm), 20 de gener de 2015].

- [10] ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN (AENOR).

[<http://www.aenor.es/aenor/aenor/mision/mision.asp#.VfavUZfigZw>, 21 de setembre de 2014].

- [11] ASTM INTERNATIONAL. *Technical Committee F42 On Additive Manufacturing Technologies Fact Sheet*.

[[http://www.astm.org/COMMIT/F42\\_Fact\\_Sheet\\_2015.pdf](http://www.astm.org/COMMIT/F42_Fact_Sheet_2015.pdf), 10 d'octubre de 2014].

- [12] ISO. STANDARDS DEVELOPMENT. TECHNICAL COMMITTEES. *ISO/TC 261 Additive Manufacturing*.

[[http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue\\_tc/catalogue\\_tc\\_browse.htm?commid=629086&published=on](http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_tc_browse.htm?commid=629086&published=on), 10 d'octubre de 2014].

- [13] EUROPEAN COMMISSION. COMMUNITY RESEARCH & DEVELOPMENT INFORMATION SERVICE. *Support Action For Standardisation in Additive Manufacturing*. Març de 2015.

[[http://cordis.europa.eu/project/rcn/104749\\_en.html](http://cordis.europa.eu/project/rcn/104749_en.html), 9 de gener de 2015].

- [14]** UNIÓN EUROPEA. TU EUROPA. EMPRESAS. REQUISITOS DE LOS PRODUCTOS. *La normalización en europa*. Juliol de 2015.

[[http://europa.eu/youreurope/business/product/standardisation-in-europe/index\\_es.htm](http://europa.eu/youreurope/business/product/standardisation-in-europe/index_es.htm), 9 de gener de 2015].

- [15]** AGENCIA EUROPEA PARA LA SEGURIDAD Y SALUT EN EL TRABAJO. LEGISLACIÓN. *Normas Europeas*.

[<https://osha.europa.eu/es/safety-and-health-legislation/standards>, 10 d'octubre de 2014].

- [16]** EUROPEAN COMMISSION. GROWTH. SINGLE MARKET AND STANDARDS. *CE marking*. Setembre de 2015.

[<http://ec.europa.eu/growth/single-market/ce-marking/>, 19 d'octubre de 2014].

- [17]** SCHNEIDER ELECTRIC. TELEMECANIQUE. *Compatibilidad Electromagnética «CEM»*. Abril 2000.

[[http://isa.uniovi.es/~alonsog/Logica\\_Cableada/CEM.pdf](http://isa.uniovi.es/~alonsog/Logica_Cableada/CEM.pdf), 26 de març de 2015].

- [18]** MARGUNE. *Guía práctica de compatibilidad electromagnética para diseño e instalación de máquinas-herramienta*.

[[http://www.aimme.es/archivosbd/observatorio\\_oportunidades/compatibilidad-electromagnetica-guia.pdf](http://www.aimme.es/archivosbd/observatorio_oportunidades/compatibilidad-electromagnetica-guia.pdf), 22 de març de 2015].

- [19]** GITHUB. *Reprap Marlin Watchdog*. 9 de Juliol de 2014.

[<https://github.com/mirecta/reprap/blob/master/Marlin/watchdog.cpp>, 12 de desembre de 2014].

- [20]** ATMOSPHERIC ENVIRONMENT núm. 79 (2013) pàg. 334 - 339. *Ultrafine particle emissions from desktop 3d printers*. Brent Stephens, Parham Azimi, Zeineb El Orch, Tiffanie Ramos. Novembre de 2013.

[<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231013005086>, 25 d'agost de 2015]

- [21] UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID. DEPARTAMENTO DE CIENCIA E INGENIERÍA DE MATERIALES. OPENCOURSEWARE: CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES. *Unidad 5 Técnicas de análisis térmico*. 2014.

[[http://ocw.uc3m.es/ciencia-e-oin/caracterizacion-de-materiales/material-de-clase-1/Analisis\\_termico.pdf](http://ocw.uc3m.es/ciencia-e-oin/caracterizacion-de-materiales/material-de-clase-1/Analisis_termico.pdf), 18 de maig de 2015].

- [22] EUROPEAN PARLIAMENT. PARLAMENTARY QUESTIONS. *3D printers and air pollution - E-010152/2013*. Novembre de 2013.

[<http://www.europarl.europa.eu/sides/getAllAnswers.do?reference=E-2013-010152&language=EN>, 7 de juny de 2015].

- [23] GOBIERNO DE ESPAÑA. MINISTERIO DE EMPLEO Y SEGURIDAD SOCIAL. INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. *Documentación. Fichas Internacionales de Seguridad Química*.

[<http://www.insht.es/portal/site/Insht/menuitem.a82abc159115c8090128ca10060961ca/?vgnnextoid=4458908b51593110VgnVCM100000dc0ca8c0RCRD>, 26 d'agost de 2015].

- [24] PERKIN ELMER. *Application Note. Thermal Analysis. Characterization of Polymers Using TGA*. 2011.

[[http://www.perkinelmer.com/CMSResources/Images/44-132088APP\\_CharacterizationofPolymersUsingTGA.pdf](http://www.perkinelmer.com/CMSResources/Images/44-132088APP_CharacterizationofPolymersUsingTGA.pdf), 18 de juny de 2015].

- [25] FIRE AND MATERIALS, Vol 10, 93-105 (1986). RUTKOSWKY & LEVIN. *Acrylonitrile-Butadiene-Styrene Copolymers (ABS): Pyrolysis and Combustion Products and their Toxicity – A Review of the Literature*. 1986.

[<http://fire.nist.gov/bfrlpubs/fire86/PDF/f86017.pdf>, 30 d'agost de 2015].

- [26] EUROPEAN COMMISSION. SCIENCE FOR ENVIRONMENT POLICY. *Thematic Issue 48: Ultra-fine particles emitted by commercial desktop 3D printers*. Febrer de 2015.

[[http://ec.europa.eu/environment/integration/research/newsalert/pdf/commercial\\_desktop\\_3D\\_printers\\_emit\\_ultra\\_fine\\_particles\\_48si9\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/environment/integration/research/newsalert/pdf/commercial_desktop_3D_printers_emit_ultra_fine_particles_48si9_en.pdf), 19 de maig de 2015].

**[27]** CREATIVE COMMONS. *Licencias*.

[<http://es.creativecommons.org/blog/licencias>, 29 de juny de 2015].

**[28]** CREATIVE COMMONS. *Cómo entender la relación entre Copyright, Copyleft, Dominio Público y Creative Commons con la analogía del semáforo*. Març de 2014.

[<http://www.creativecommons.cl/2014/03/como-entender-la-relacion-entre-copyright-copyleft-dominio-publico-y-creative-commons-con-la-analogia-del-semaforo/>, 26 de juny de 2015].

**[29]** FREE SOFTWARE FOUNDATION. *El logotip de la Free Software Foundation*. Maig de 2015.

[<http://www.gnu.org/graphics/fsf-logo.html>, 26 de juny de 2015].

## 22.2. Bibliografia complementària

**[30]** 3DPRINTING. *What is 3d printing?*.

[<http://3dprinting.com/what-is-3d-printing/>, 11 de desembre de 2014].

**[31]** EUROPEAN COMMISSION. RESEARCH & INNOVATION. HORIZON. 3D PRINTING IN THE UE.

[[http://horizon-magazine.eu/content/3d-printing-eu\\_en.html-0](http://horizon-magazine.eu/content/3d-printing-eu_en.html-0), 1 de gener de 2015].

**[32]** EUROPEAN COMMISSION. RESEARCH & INNOVATION. INFORMATION CENTRE. *'3D Printing' holds potential to transform how objects are manufactured*. Juny de 2014.

[[http://ec.europa.eu/research/infocentre/article\\_en.cfm?artid=32209](http://ec.europa.eu/research/infocentre/article_en.cfm?artid=32209), 1 de gener de 2015].

**[33]** IBM MARKET DEVELOPMENT AND INSIGHTS. *3D Printing/Additive Manufacturing - Horizon Watching Emerging Trend Report*. Maig de 2013.

[<http://www.slideshare.net/HorizonWatching/s12-3-d-printing-2014-horizonwatching-trend-summary-report-17apr2014>, 21 de desembre de 2014].

- [34] EUROPEAN COMMISSION. COMMUNITY RESEARCH & DEVELOPMENT INFORMATION SERVICE. PROJECTS & RESULTS SERVICE. SASAM. Març de 2015.

[[http://cordis.europa.eu/project/rcn/104749\\_en.html](http://cordis.europa.eu/project/rcn/104749_en.html), 1 de gener de 2015].

- [35] GOBIERNO DE ESPAÑA. MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO, SECRETARIA GENERAL DE INDUSTRIA Y DE LA PEQUEÑA Y MEDIANA EMPRESA. LEGISLACIÓN SOBRE SEGURIDAD INDUSTRIAL. *Legislación Comunitaria. Conceptos básicos sobre el Nuevo Enfoque y el Enfoque Global*.

[[http://www.f2i2.net/legislacionseguridadindustrial/LC\\_NuevoEnfoque.aspx](http://www.f2i2.net/legislacionseguridadindustrial/LC_NuevoEnfoque.aspx), 2 de setembre de 2014].

- [36] EUROPEAN COMMISSION. GROWTH. SINGLE MARKET AND STANDARDS. EUROPEAN STANDARDS. Setembre de 2015.

[<http://ec.europa.eu/growth/single-market/european-standards/>, 1 de setembre de 2014].

- [37] UNIÓN EUROPEA. LEGISLACIÓN Y PUBLICACIONES DE LA UE. EUR-LEX. SÍNTESIS DE LA LEGISLACIÓN DE LA UE. MERCADO INTERIOR.

[[http://eur-lex.europa.eu/summary/chapter/internal\\_market.html?root\\_default=SUM\\_1\\_CODED%3D24,SUM\\_2\\_CODED%3D2403,SUM\\_3\\_CODED%3D240302&locale=es](http://eur-lex.europa.eu/summary/chapter/internal_market.html?root_default=SUM_1_CODED%3D24,SUM_2_CODED%3D2403,SUM_3_CODED%3D240302&locale=es), 13 setembre de 2014]

- [38] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO).

[<http://www.iso.org/iso/home.html>, 11 d'octubre de 2014].

- [39] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (IEC).

[<http://www.iec.ch>, 11 d'octubre de 2014].

- [40] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN).

[<https://www.cen.eu/Pages/default.aspx>, 20 d'octubre de 2014].

- [41] EUROPEAN COMMITTEE FOR ELECTROTECHNICAL STANDARDIZATION (CENELEC).

[<http://www.cenelec.eu>, 9 de novembre de 2014].



- [42] GOBIERNO DE ESPAÑA. MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO. SECRETARÍA GENERAL DE INDUSTRIA Y DE LA PEQUEÑA Y MEDIANA EMPRESA. LEGISLACIÓN SOBRE SEGURIDAD INDUSTRIAL. *Legislación Nacional*.

[<http://www.f2i2.net/legislacionseguridadindustrial/LegislacionNacional.aspx>,  
d'octubre de 2014].

19

- [43] GOBIERNO DE ESPAÑA. MINISTERIO DE LA PRESIDENCIA. BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO.

[<http://www.boe.es>, 15 de desembre de 2014].

- [44] ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN (AENOR).

[<http://www.aenor.es>, 29 de febrer de 2015].

- [45] REPRAP COMMUNITY. WIKI. *Reprap Options*. Setembre 2015.

[[http://reprap.org/wiki/RepRap\\_Options](http://reprap.org/wiki/RepRap_Options), 2 de novembre de 2014].

- [46] GOBIERNO DE ESPAÑA. MINISTERIO DE EMPLEO Y SEGURIDAD SOCIAL. INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. DOCUMENTACIÓN. *Fichas de divulgación normativa*.

[<http://www.insht.es/portal/site/Insht/>, 17 d'agost de 2015].

- [47] SIEMENS AG. SAFETY INTEGRATED. *Risk Assessment in Accordance with EN ISO 14121-1 and EN ISO 12100:2010*. 2011.

[[https://w5.siemens.com/italy/web/AD/ProdottieSoluzioni/Sistemiautomazonenew/SafetyIntegrated/Documents/RiskAssessment\\_WEB.pdf](https://w5.siemens.com/italy/web/AD/ProdottieSoluzioni/Sistemiautomazonenew/SafetyIntegrated/Documents/RiskAssessment_WEB.pdf), 10 de març 2015].

- [48] GOBIERNO DE ESPAÑA. MINISTERIO DE EMPLEO Y SEGURIDAD SOCIAL. INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. OBSERVATORIO ESTATAL DE CONDICIONES DE TRABAJO. *Informe sobre el proyecto NOMAD*. Maig 2012.

[<http://www.oect.es/Observatorio/5%20Estudios%20tecnicos/Otros%20estudios%20tecnicos/Publicado/Ficheros/Informe%20NOMAD.pdf>, 26 d'abril de 2015].

- [49] REPRAP COMMUNITY. WIKI. *Prusa i3 Rework Electronics and wiring*. Novembre de 2014.

[[http://reprap.org/wiki/Prusa\\_i3\\_Rework\\_Electronics\\_and\\_wiring](http://reprap.org/wiki/Prusa_i3_Rework_Electronics_and_wiring), 3 de març de 2015]

- [50] TIM WILLIAMS. *EMC for Product Designers. Meeting the European Directive*. Newnes, Tercera edició de 2001.

- [51] TÜV SÜD PRODUCT SERVICE. *A Beginners Guide to EMC*.

[<http://www.tuv-sud.co.uk/uploads/images/1287049464038611510382/presentation.pdf>, 11 d'abril de 2015]

- [52] ITU TRAINING ON CONFORMANCE AND INTEROPERABILITY FOR ARB REGION. *EMC Standards*. Abril de 2013.

[[https://www.itu.int/en/ITU-D/Technology/Documents/Events2013/CI\\_Training\\_ARB\\_Tunis\\_April13/UIT EMC\\_standards.pdf](https://www.itu.int/en/ITU-D/Technology/Documents/Events2013/CI_Training_ARB_Tunis_April13/UIT EMC_standards.pdf), 20 d'abril de 2015].

- [53] UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA. DEPARTAMENT D'ENGINYERIA ELECTRÒNICA. LLUÍS FERRER I ARNAU. *Introducción a la compatibilidad electromagnética*.

[[http://www.jcee.upc.es/JCEE2002/FERRER\\_PON\\_02.pdf](http://www.jcee.upc.es/JCEE2002/FERRER_PON_02.pdf), 30 d'abril de 2015].

- [54] UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID. ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR. DEPARTAMENTO DE CIENCIA E INGENIERÍA DE LOS MATERIALES E INGENIERÍA QUÍMICA. *Proyecto fin de carrera - Estudio comparativo de piezas de ABS y PLA procesadas mediante modelado por deposición fundida*. Octubre de 2013.

[[http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/18015/PFC\\_Antonio\\_Relano\\_Pastor.pdf?sequence=1](http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/18015/PFC_Antonio_Relano_Pastor.pdf?sequence=1), 8 de juny de 2015].

- [55] GOBIERNO DE ESPAÑA. MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE. CALIDAD Y EVALUACIÓN AMBIENTAL. PREVENCIÓN Y GESTIÓN DE RESIDUOS.

[<http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/>, 24 de maig de 2015].

- [56]** EUROPEAN COMMISSION. ENVIRONMENT. WASTE. *Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)*. Setembre de 2015.

[[http://ec.europa.eu/environment/waste/weee/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/waste/weee/index_en.htm), 19 de juliol de 2015].

- [57]** GOBIERNO DE ESPAÑA. MINISTERIO DE EDUCACIÓN, CULTURA Y DEPORTE. PROPIEDAD INTELECTUAL. *Preguntas frecuentes*.

[<http://www.mecd.gob.es/mecd/cultura-mecd/areas-cultura/propiedadintelectual/la-propiedad-intelectual/preguntas-mas-frecuentes/introduccion.html>, 18 de juny del 2015].

- [58]** NEW MEDIA RIGHTS. *Open Source Licensing Guide*. Desembre de 2008.

[[http://www.newmediarights.org/open\\_source/new\\_media\\_rights\\_open\\_source\\_licensing\\_guide](http://www.newmediarights.org/open_source/new_media_rights_open_source_licensing_guide), 18 de maig de 2015].

- [59]** OVTOASTER, TECNOLOGÍA LIBRE PARA MENTES CURIOSAS. *Copyright, Copyleft, y Creative Commons, la jungla de los derechos de autor*. Febrer de 2014.

[<http://ovtoaster.com/copyright-copyleft-y-creative-commons/>, 13 de maig de 2015].

- [60]** WIKIPEDIA. *Licencia de software*. Setembre de 2015.

[[http://es.wikipedia.org/wiki/Licencia\\_de\\_software#Clasificaci.C3.B3n\\_de\\_las\\_licencias\\_de\\_software](http://es.wikipedia.org/wiki/Licencia_de_software#Clasificaci.C3.B3n_de_las_licencias_de_software), 17 de juliol de 2015]

- [61]** WIKIPEDIA. *Anexo: Clasificación licencias de software libre*. Maig de 2015.

[[http://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Comparaci%C3%B3n\\_de\\_licencias\\_de\\_software\\_libre](http://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Comparaci%C3%B3n_de_licencias_de_software_libre), 1 de juny de 2015].

- [62]** ARDUINO LLC. *Trademark*.

[<http://www.arduino.cc/en/Trademark/HomePage?from=Main.Trademark>, 11 de d'agost de 2015].

- [63]** GOBIERNO DE ESPAÑA. MINISTERIO DE SANIDAD, SERVICIOS SOCIALES E IGUALDAD. CENTRO EUROPEO DEL CONSUMIDOR EN ESPAÑA.

[<http://www.cec.consumo-inc.es/>, 27 d'agost de 2015].

- [64]** GENERALITAT DE CATALUNYA. DEPARTAMEN DE CULTURA. REGISTRE DE LA PROPIETAT INTEL·LECTUAL. *Temes*.

[[http://cultura.gencat.cat/ca/departament/estructura\\_i\\_adreces/organismes/rpi/temes/](http://cultura.gencat.cat/ca/departament/estructura_i_adreces/organismes/rpi/temes/), 22 d'agost de 2015].

- [65]** GENERALITAT DE CATALUNYA. AGÈNCIA CATALANA DEL CONSUM. *Garantia dels productes*. Març de 2015.

[[http://www.consum.cat/temes\\_de\\_consum/garanties/index.html](http://www.consum.cat/temes_de_consum/garanties/index.html), 10 d'abril de 2015].

- [66]** GENERALITAT DE CATALUNYA. AGÈNCIA CATALANA DEL CONSUM. *Normativa europea*. 2011.

[[http://www.consum.cat/consum\\_a\\_europa/normativa\\_europea/index.html](http://www.consum.cat/consum_a_europa/normativa_europea/index.html), 10 d'abril de 2015].